
AÇOS



AÇO

■ O QUE É?

PRINCIPAIS IMPUREZAS

- Si, Mn, Al (formam geralmente inclusões não-metálicas)
- Elementos fragilizantes

COMPORTAMENTO DOS AÇOS

- A presença de elementos de liga muda as linhas do diagrama de fase Fe-C
- Alguns elementos de liga atuam como estabilizadores da austenita e outros da ferrita

MATERIAIS METÁLICOS

FERROSOS

Ligas Fe-C

Ferros fundidos

Aços

- Sem liga
- Baixa liga
- HSLA
- Ligados

Fe-Cr
(-Ni)
(INOX)

- Ferríticos
- Austeníticos
- Martensíticos
- Duplex
- PH

Outras Fe

Fe-Ni
(MARAGING)

Fe-C-Mn
(HADFELD)

NÃO FERROSOS

Ligas leves

Ligas Al

Ligas Ti

Ligas Mg

Ligas Be

Bronzes

Ligas Cu

Latões

Cu-Ni

Ligas Ni

LIGAS FERRO-CARBONO

$0 < \%C < 2$

$2 < \%C < 4$

AÇOS

FERROS FUNDIDOS

**Sem liga ou
Aço-carbono**

Se não contiver
nenhum elemento de
liga em quantidade
superior aos mínimos
indicados

Aço ligado

**Aço de
baixa
liga**

Se nenhum elemento
de liga atingir um
teor de 5%

**Aço de
alta liga**

Se pelo menos um el.
de liga ultrapassar
um teor de 5%

CLASSIFICAÇÃO DOS AÇOS

QUANTO

- Composição química
- Estrutura
- Propriedades ou Aplicação

CLASSIFICAÇÃO DOS AÇOS

QUANTO A COMPOSIÇÃO

- Aço-Carbono → - sem elemento de liga
(elementos residuais: Si, Mn)
Alto, baixo e médio teor de carbono
- Aço-Liga
 - baixa liga (máximo 3-3,5%)
 - média liga
 - alta liga (teor total mínimo de 10-12%)

PROPRIEDADES DOS AÇOS-CARBONO

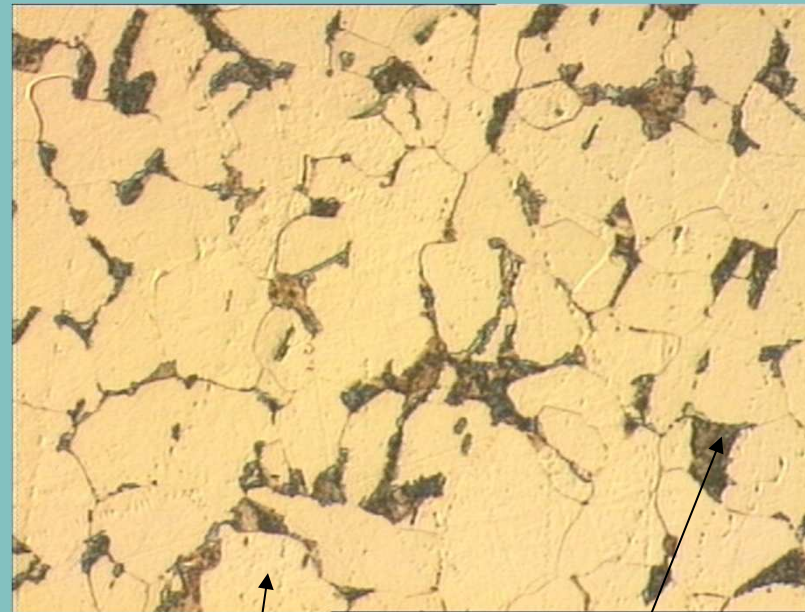
- A resistência aumenta com o teor de Carbono
- A ductilidade diminui com o teor de Carbono
- São aços de relativa baixa dureza
- Oxidam-se facilmente
- Suas propriedades deterioram-se a baixas e altas temperaturas
- São os mais usados e de mais baixo custo

PROPIEDADES DOS AÇOS BAIXO CARBONO

AÇO BAIXO CARBONO → $< 0,35\% \text{ C}$

- Estrutura é usualmente ferrítica e perlítica
- São fáceis de conformar e soldar
- São aços de baixa dureza e alta ductilidade

MICROESTRUTURA DOS AÇOS BAIXO TEOR DE CARBONO



Ferrita

Perlita

APLICAÇÕES TÍPICAS DOS AÇOS BAIXO CARBONO

- Entre as suas aplicações típicas estão as chapas automobilística, perfis estruturais e placas utilizadas na fabricação de tubos, construção civil, pontes e latas de folhas-de-flandres.

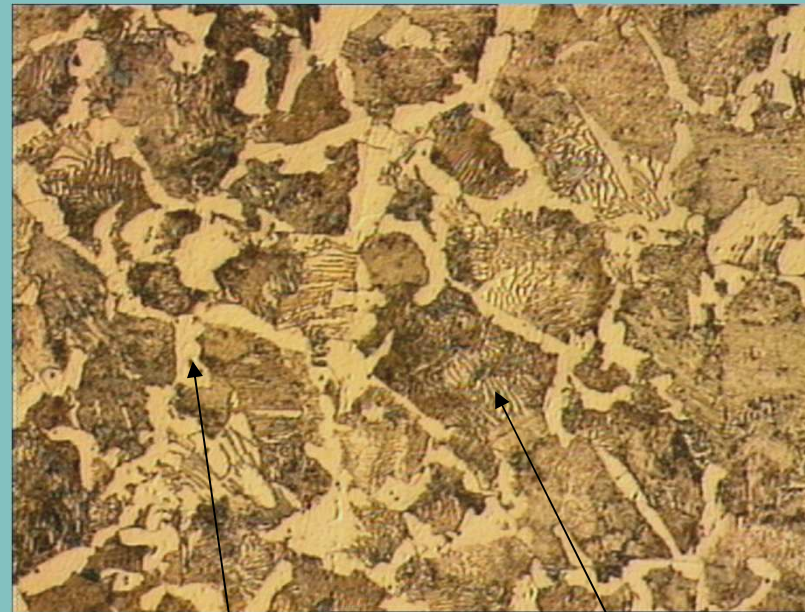


PROPIEDADES DOS AÇOS MÉDIO CARBONO RESFRIADOS LENTAMENTE

AÇO MÉDIO CARBONO → 0,3-0,6% C

- São aços de boa temperabilidade em água
- Apresentam a melhor combinação de tenacidade e ductilidade e resistência mecânica e dureza
- São os aços mais comuns, tendo inúmeras aplicações em construção : rodas e equipamentos ferroviários, engrenagens, virabrequins e outras peças de máquinas que necessitam de elevadas resistências mecânica e ao desgaste.

MICROESTRUTURA DOS AÇOS MÉDIO TEOR DE CARBONO RESFRIADOS LENTAMENTE



Ferrita

Perlita

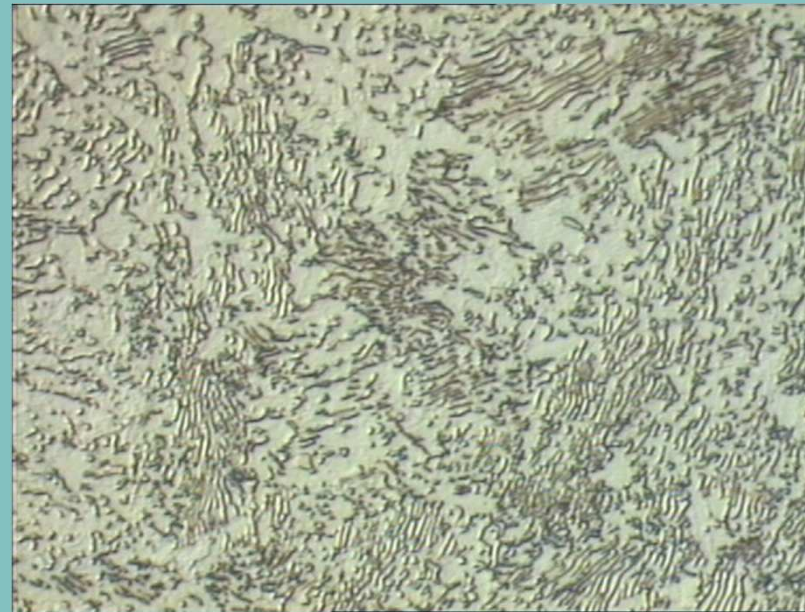
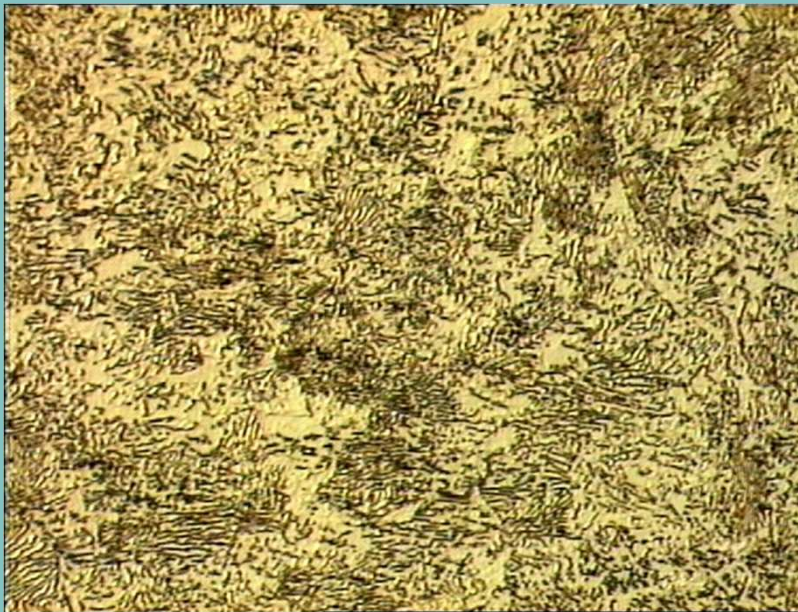
PROPIEDADES DOS AÇOS ALTO CARBONO

AÇO ALTO CARBONO → $> 0,6\% \text{ C}$

- Apresentam baixa conformabilidade e tenacidade
- Apresentam alta dureza e elevada resistência ao desgaste
- Quando temperados são frágeis



MICROESTRUTURA DOS AÇOS ALTO TEOR DE CARBONO RESFRIADOS LENTAMENTE



Somente Perlita



AÇO-LIGA OU AÇOS LIGADOS

AÇO-LIGA OU AÇOS LIGADOS

ELEMENTOS DE LIGA MAIS COMUNS

- Cr
- Ni
- V
- Mo
- W
- Co
- B
- Cu
- Mn, Si (residuais)

EFEITO DOS ELEMENTOS DE LIGA

- Aumentam a dureza e a resistência
- Conferem propriedades especiais como:
 - Resistência à corrosão
 - Estabilidade à baixas e altas temperaturas
 - Controlam o tamanho de grão
 - Melhoram a conformabilidade
 - Melhoram as propriedades elétricas e magnéticas
 - Diminuem o peso (relativo à resistência específica)
- Deslocam as curvas TTT para a direita

MANGANÊS (residual)

- Agente dessulfurante e desoxidante
- Aumenta a dureza e a resistência (%Mn>1%)
- Baixa a temperatura de transformação da martensita
- Entre 11-14% Mn alcança-se alta dureza, alta ductilidade e excelente resistência ao desgaste (aplicações em ferramentas resistentes ao desgaste)

ENXOFRE (residual)

- Agente fragilizador
- Se combinado com Mn forma MnS que pode ser benéfico (melhora a usinabilidade)
- Está presente em altos teores em aços para usinagem fácil

NÍQUEL

- Aumenta a resistência ao impacto (2-5% Ni)
- Aumenta consideravelmente a resistência à corrosão em aços baixo carbono (12-20% Ni)
- Com 36% de Ni (INVAR) tem-se coeficiente de expansão térmica próximo de zero.



Usado como sensores em aparelhos de precisão

CROMO

- Aumenta a resistência à corrosão e ao calor
- Aumenta a resistência ao desgaste (devido à formação de carbeto de cromo)
- Em aços baixa liga aumenta a resistência e a dureza
- É normalmente adicionado com Ni (1:2)

MOLIBIDÊNIO

- Em teores $< 0,3\%$ aumenta a dureza e a resistência, especialmente sob condições dinâmicas e a altas temperaturas
- Atua como refinador de grão
- Melhora a resistência à corrosão
- Forma partículas resistentes à abrasão
- Contrabalança a tendência à fragilidade de revenido

VANÁDIO

- Forma carbeto que são estáveis a altas temperaturas
- Inibe o crescimento de grão (0,03-0,25%) e melhora todas as propriedades de resistência sem afetar a ductilidade

TUNGSTÊNIO

- Mantém a dureza a altas temperaturas
- Forma partículas duras e resistentes ao desgaste à altas temperaturas



Presente em aços para ferramentas

SILÍCIO (residual)

- Tem efeito similar ao Níquel
- Melhora as propriedades de resistência com pouca perda de ductilidade
- Melhora a resistência à oxidação
- Com 2% de Si é usado para a confecção de molas
- Aumenta o tamanho de grão (necessário para aplicações magnéticas)
- Agente desoxidante

BORO

- É um agente endurecedor poderoso (0,001-0,003%)
- Facilita a conformação à frio
- Tem efeito 250-750 vezes ao efeito do Ni
100 vezes ao Cr
75-125 vezes ao Mo

Aços microligados

ALUMÍNIO

- Facilita a nitretação
- Agente desoxidante
- Controla o tamanho de grão pela formação de óxidos ou nitretos

COBALTO

- Melhora a dureza à quente
- É usado em aços magnéticos

FÓSFORO (Residual)

- Aumenta a resistência dos aços baixo carbono
- Aumenta a resistência à corrosão
- Facilita a usinagem
- Gera fragilidade à frio (0,04-0,025% no máximo)

TITÂNIO

- Reduz a dureza martensítica e a endurecibilidade de aços ao cromo
- Impede a formação da austenita em aços ao cromo

APLICAÇÕES DOS AÇOS-LIGA

- Os aços-liga, por serem uma família bastante ampla de diferentes tipos de aços com propriedades bastante distintas, encontram aplicações igualmente vastas.
- Podem ser encontrados em praticamente todos os segmentos industriais, desde a construção civil até a construção naval, passando pela indústria petrolífera, automobilística e aeronáutica.



SISTEMA DE CLASSIFICAÇÃO DOS AÇOS

ANSI-SAE XXXX

1XXX → Aço-carbono

10XX → Aço-carbono comum

11XX → teores diferenciados de S

12XX → teores diferenciados de S e P

13XX → alto teor de Mn (1,6-1,9%)

SISTEMA DE CLASSIFICAÇÃO DOS AÇOS

2XXX → Aço ao Níquel

3XXX → Aço ao Níquel e Cromo

4XXX → Aço ao Molibidênio

40XX → Mo 0,15-0,3%

41XX → Mo, Cr

43XX → Mo, Cr, Ni

5XXX → Aço ao Cromo

6XXX → Aço ao Cromo e Vanádio

8XXX → Aço ao Níquel, Cromo e Molibidênio

9XXX → Outros

CLASSIFICAÇÃO DOS AÇOS ALTO TEOR DE LIGA

- Aços inoxidáveis
- Aços refratários (resistentes ao calor)
- Aços para ferramentas



São classificados de maneira diferente

CLASSIFICAÇÃO DOS AÇOS

QUANTO A ESTRUTURA

- Perlíticos
- Martensíticos
- Austeníticos
- Ferríticos
- Carbídicos

AÇOS PERLÍTICOS

- Aços com no máximo 5% de elementos de liga
- As propriedades mecânicas podem ser melhoradas por tratamento térmico
- Aços de boa usinabilidade

AÇOS MARTENSÍTICOS

- Aços com mais de 5% de elementos de liga
- Apresentam alta dureza
- Aços de baixa usinabilidade

A FASE MARTENSITA



Estrutura Tetragonal
Dura
Frágil

AÇOS AUSTENÍTICOS

- Tem estrutura austenítica a temperatura ambiente, devido aos elevados teores de elementos de liga (Ni, Mn, Co)

■ Exemplo: inoxidáveis, não magnéticos e resistentes ao calor

AÇOS FERRÍTICOS

- Tem baixo teor de Carbono
- Tem elevados teores de elementos de liga (Cr, W, Si)
- Não reagem à têmpera
- Apresentam estrutura ferrítica no estado recozido

AÇOS CARBÍDICOS

- Apresentam alto teor de Carbono e elementos formadores de carbonetos (Cr, W, Mn, Ti, Nb, Zr)
- A estrutura consiste de carbonetos dispersos na matriz sorbítica, austenítica ou martensítica, dependendo da composição química
- São usados para ferramentas de corte e para matrizes

CLASSIFICAÇÃO DOS AÇOS

QUANTO AS PROPRIEDADES OU APLICAÇÃO

- Aços para construção mecânica
- Aços para ferramentas
- Aços inoxidáveis

- É melhor comparar propriedades que composição
- Na seleção do aço deve-se pesar não só as propriedades necessárias para o uso, mas também o processo de fabricação que será utilizado para fazer o componente

CLASSIFICAÇÃO DOS AÇOS

QUANTO AS PROPRIEDADES OU APLICAÇÃO

- Aços para fundição
- Aços para ferramentas
- Aços estruturais
- Aços para nitretação
- Aços resistentes ao calor
- Aços para fins elétricos
- Aços para fins magnéticos

AÇOS PARA FUNDIÇÃO

QUANTO AS PROPRIEDADES

- Boa resistência, ductilidade e tenacidade
- Boa usinabilidade
- Adequada soldabilidade
- Boa fluidez
- A maioria é susceptível à têmpera e revenido



AÇOS PARA FUNDIÇÃO

QUANTO OS TIPOS

- Aços baixo, médio e alto carbono
- Aços-liga de baixo e alto teor de liga

Os produtos de aço obtidos por fundição são dos mais variados tipos, desde peças grandes como cilindros de laminadores como diversos componentes de máquinas

AÇOS PARA FUNDIÇÃO

AÇOS BAIXO CARBONO

- Equipamentos elétricos, engrenagens,...

AÇOS MÉDIO CARBONO

- Indústrias automobilística, ferroviária, naval, tratores,...

AÇOS ALTO CARBONO

- Matrizes, cilindros de laminadores, partes de máquinas,...

AÇOS ESTRUTURAIS

QUANTO AS PROPRIEDADES

- Boa ductilidade para ser conformado
- Boa soldabilidade
- Elevado valor de relação de resistência à tração para limite de escoamento
- Baixo custo
- Homogeneidade

AÇOS ESTRUTURAIS

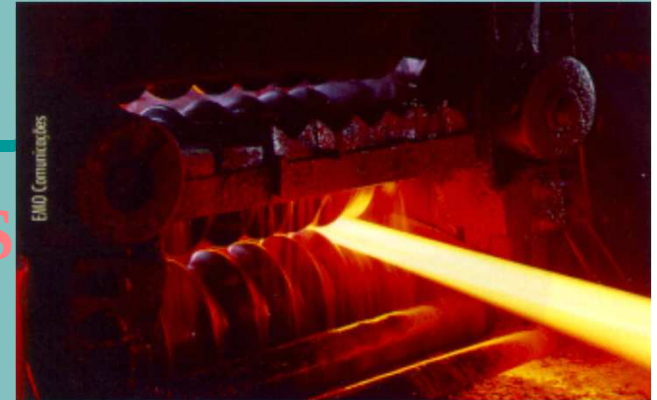
QUANTO AO TIPO

- Aços ao carbono (laminados à quente)
- Aços com baixo teor de elemento de liga e alta resistência (estruturas de carros e ônibus, pontes edifícios)

AÇOS PARA CHAPAS E TUBOS

■ QUANTO AS PROPRIEDADES

- Excelente deformabilidade
- Boa soldabilidade
- Boa ductilidade
- Baixo custo
- Dependendo do tipo de aplicação, alta resistência à corrosão e de fácil revestimento
- Superfície sem defeitos



AÇOS PARA CHAPAS E TUBOS

■ QUANTO AO TIPO

- O tipo mais comum → aços ao carbono comuns ou doce

AÇOS PARA ARAMES E FIOS

■ QUANTO AS PROPRIEDADES

- Excelente resistência à tração (depende da aplicação)
- Boa ductilidade para ser conformado

AÇOS PARA ARAMES E FIOS

■ QUANTO AO TIPO

- Aço baixo Carbono
- Aço médio Carbono
- Aço alto Carbono (0,8-0,95% de C)

*Fio de música ou corda de piano → resist.
à tração de 280 Kgf/mm²*

AÇOS PARA MOLAS

■ QUANTO AS PROPRIEDADES

- Elevado limite de elasticidade
- Elevada resistência à fadiga
- Elevada resistência ao choque



AÇOS PARA MOLAS

■ QUANTO AO TIPO

- Aço carbono (0,5-1,2% de carbono)
- Para algumas aplicações usa-se aço liga (Si-Mn, Cr-V)

Exemplos: 6150 (Cr-V) e 9260 (Si-Mn)

Aços microligados - HSLA

- São especificados pela resist. e não pela composição
- Desenvolvidos a partir dos aços de baixo carbono com pequenas adições de Mn (até 2%) e outros elementos em níveis muito pequenos
- Apresentam maior resistência que os aços de baixo carbono idêntico, mantendo a ductilidade e soldabilidade
- Destinados a estruturas onde a soldagem é um requisito primário ($\Rightarrow$ C baixo) e a resistência é importante!
- Grande ganho de peso a custo reduzido!
- Temp. Transição dúctil-frágil muito baixa e tenacidade à fractura elevada
- Ganho de resistência é obtido por solução sólida dos el. Liga e não por trat. térmico
- Nb, Ti, V, Ni formam precipitados inibindo o cresc. grão e melhoram a tenacidade
- Adição de 0,5%Cu max conferem melhor resist. à corrosão

Aços Microligados Relaminados (a frio com uso do nitrogênio líquido como meio de lubrificação)

- A laminação controlada confere aos aços microligados, propriedades mecânicas superiores em comparação aos aços com mesmo nível de elementos de liga, além de proporcionar boa tenacidade e soldabilidade. As características finais são obtidas diretamente do processo de laminação à quente (constituindo-se um processo termomecânico), o que reduz custo.
- A melhora das prop. mecânicas se dá pelos seguintes mecanismos de endurecimento: refino de grão, precipitação de segunda fase, transformação de fase, formação de textura solução sólida e encruamento.

Vantagem: Diminuição de espessura na aplicação final, devido à alta resistência

Aços tipo ULCB

Ultra Low Carbon Bainite

- foram concebidos entre o final da década de 1980 e o início da década de 1990
- Aços com teor extra-baixo de carbono, endurecíveis pela formação de microestrutura bainítica, que forma uma subestrutura de discordâncias, e pela solução sólida de elementos de liga.
- são utilizadas em aplicações navais militares críticas, como áreas de conveses altamente solicitadas do ponto de vista mecânico, superfícies que determinam o curso de belonaves, cascos submetidos à pressão e paredes de tanques em submarinos convencionais
- O boro é uma adição indispensável quando se deseja obter estrutura plenamente bainítica em ligas com teor extra-baixo de carbono

Aços tipo ULCB

Ultra Low Carbon Bainite

- Esses aços só são produzidos no Japão (maior potência siderúrgica mundial)
- Os aços para fins militares sofrem restrições políticas severas, o que dificulta a importação desse material.

AÇOS DE USINAGEM FÁCIL

QUANTO AS PROPRIEDADES

■ Elevada usinabilidade



**Depende da composição e
microestrutura**

AÇOS DE USINAGEM FÁCIL

QUANTO AO TIPO

- Aços com alto teor de enxofre, fósforo e manganês
- Adição de metais moles como o Chumbo e Bismuto facilitam a usinagem (série especial).

AÇOS DE USINAGEM FÁCIL

Padrão 100 de usinagem



1112

%C: no max. 0,13

%Mn: 0,7-1

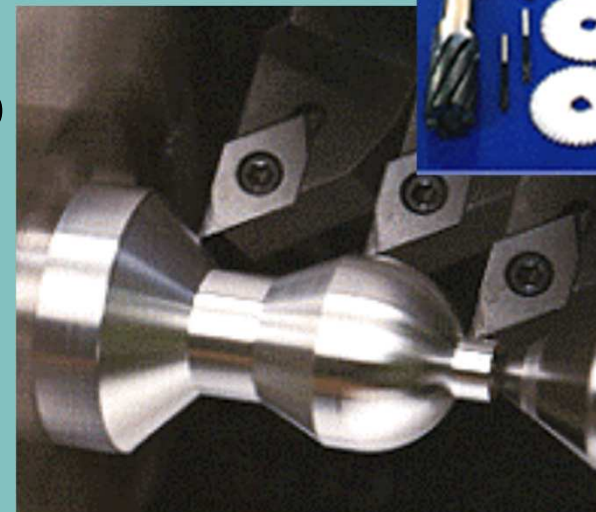
%S: 0,16-023

%P: 0,07-0,12

AÇOS PARA FERRAMENTAS E MATRIZES

■ QUANTO AS PROPRIEDADES

- Elevada dureza a temperatura ambiente e a quente
- Boa tenacidade
- Boa Resistência ao desgaste
- Boa Resistência Mecânica
- Tamanho de grão pequeno
- Boa usinabilidade
- Temperabilidade



AÇOS PARA FERRAMENTAS E MATRIZES

■ QUANTO AO TIPO

- Aços com alto teor de Carbono (0,6-1,3%C)
- Aços com alto teor de liga de W, V e Cr ou Mo, Co e outros.

AÇOS PARA FERRAMENTAS E MATRIZES

■ QUANTO A APLICAÇÃO

Aços-rápido: desenvolvidos para aplicações de usinagem em elevadas velocidades

Aços para trabalho a quente: desenvolvidos para utilização em operações de punçonnemento, cisalhamento e forjamento de metais em altas temperaturas sob condições de calor, pressão e abrasão.

Aços para deformação a frio: desenvolvidos para aplicações que não envolvam aquecimentos repetidos ou prolongados

AÇOS PARA FERRAMENTAS E MATRIZES

Aços-rápido:

- aplicações de usinagem em elevadas velocidades.

Existem duas classificações que são:

- ao **molibdênio** (grupo M)
- ao **tungstênio**: (grupo T).

Os dois tipos possuem uma performance mais ou menos semelhante. Os do grupo M, entretanto, tem um custo inicial menor.

AÇOS PARA FERRAMENTAS E MATRIZES

- **Aços para trabalho a quente:** desenvolvidos para utilização em operações de puncionamento, cisalhamento e forjamento de metais em altas temperaturas sob condições de calor, pressão e abrasão.
- São identificados como aço H, no sistema de classificação.
- São divididos em três sub-grupos:
 - ao **cromo** (H10 à H19)
 - ao **tungstênio** (H21 à H26)
 - ao **molibdênio** (H42 à H43).

AÇOS PARA FERRAMENTAS E MATRIZES

- • **Aços para deformação a frio**: por não conter os elementos de liga necessários para possuir **resistência a quente**, estes aços se restringem a aplicações que não envolvam aquecimentos repetidos ou prolongados em faixas de temperatura de 205 a 260°C.

São divididos em três grupos:

- aços temperáveis ao ar (**grupo A**)
- aços alto-carbono e alto-cromo (**grupo D**)
- aços temperáveis em óleo (**grupo O**)

AÇOS INOXIDÁVEIS

QUANTO AO TIPO

São classificados segundo a microestrutura

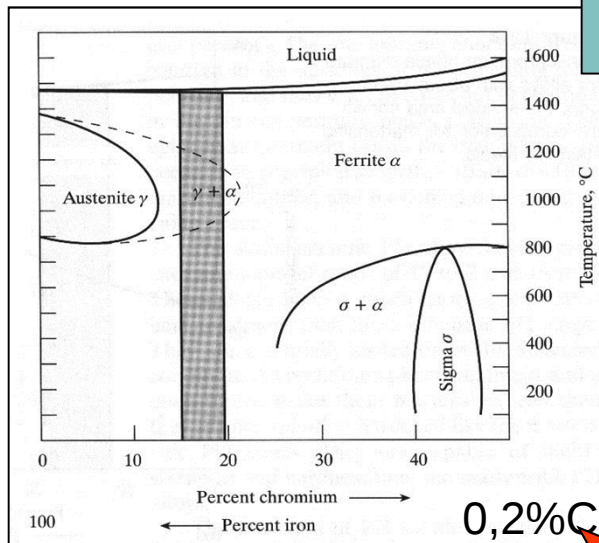


- **Martensíticos (Fe, Cr)** → endurecidos por TT
- **Ferríticos (Fe, Cr)** → não endurecíveis por TT
- **Austeníticos (Fe, Cr, Ni)** → não endurecíveis por TT

TIPOS BÁSICOS DE AÇOS INOX

FERRÍTICOS

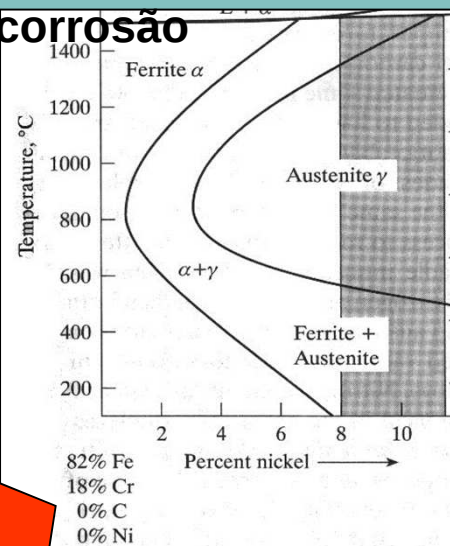
- $11 \leq \%Cr \leq 20$, $\%C \leq 0,3$
- Não podem ser tratados termicamente



AUSTENÍTICOS

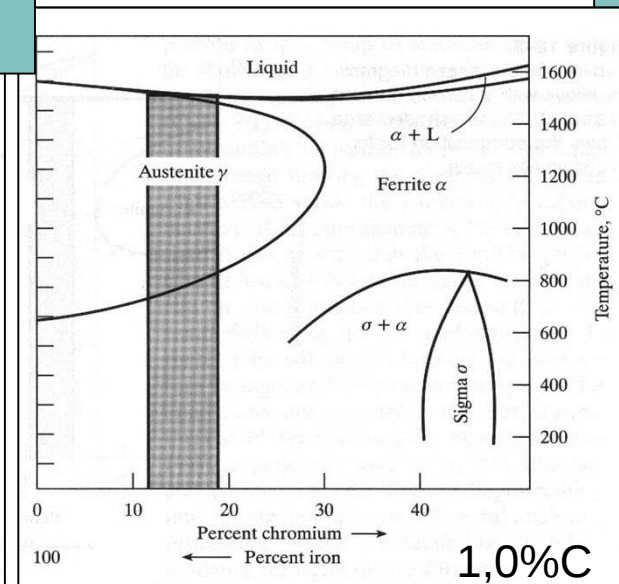
- $17 \leq \%Cr \leq 25$; $6 \leq \%Ni \leq 20$
- Estrutura austenítica à temp. ambiente
- Não podem ser tratados termicamente
- **Mais resistente**

corrosão



MARTENSÍTICOS

- $12 \leq \%Cr \leq 18$; $0,1 \leq \%C \leq 1,2$
- Quando temperados atingem elevados níveis de dureza e resistência



AÇOS INOXIDÁVEIS

■ Cromo → tende a estabilizar a ferrita

■ Níquel → tende a estabilizar a austenita

→ melhora a resist. à corrosão a alta temp.

CLASSIFICAÇÃO SEGUNDO AISI

SÉRIE	LIGA	ESTRUTURA
200	Cr, Ni, Mn ou Ni	Austenítico
300	Cr, Ni	Austenítico
400	Somente Cr	Ferrítico ou martensítico
500	Baixo Cr (<12%)	Martensítico

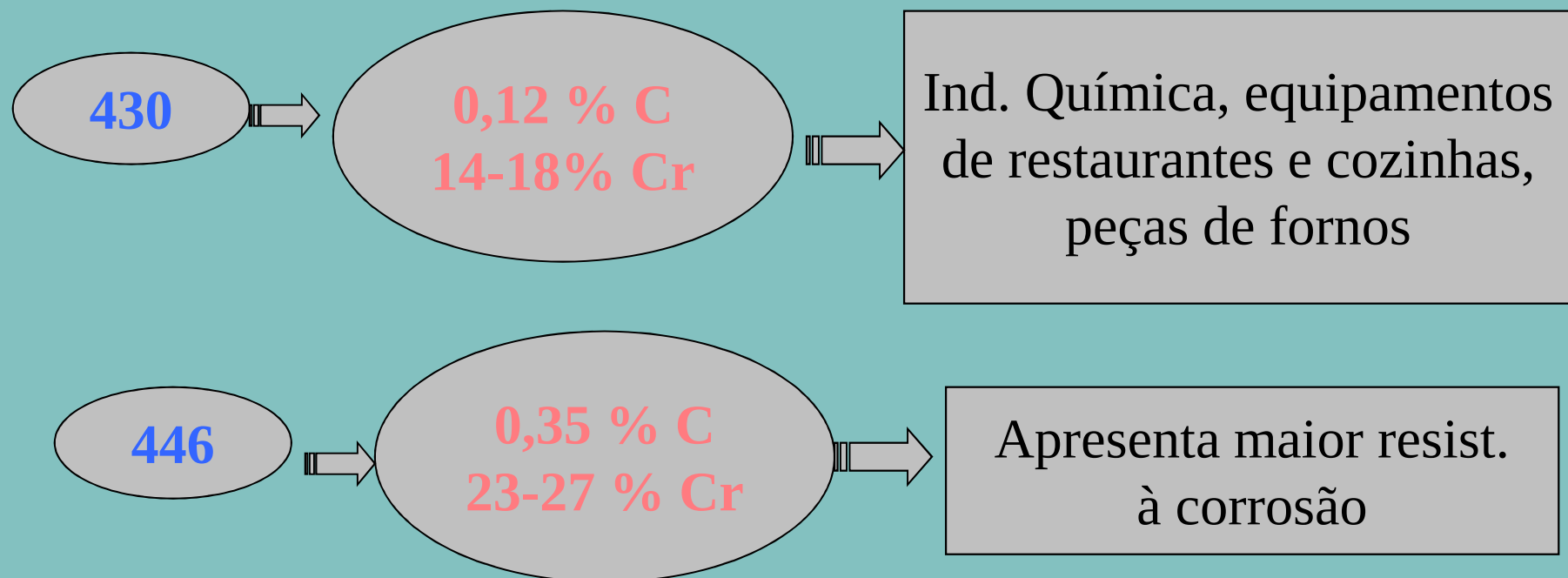
AÇOS INOXIDÁVEIS FERRÍTICOS

- São ferromagnéticos, podem possuir boas ductilidade e conformabilidade mas suas características de resistência em altas temperaturas são ruins se comparadas à dos austeníticos.
- Sua tenacidade também pode ser limitada a baixas temperaturas e em seções pesadas.
- Não são endurecíveis por tratamento térmico e dificilmente por trabalho a frio.

AÇOS INOXIDÁVEIS FERRÍTICOS

$\%C = 0,08-0,12\%$ e $\%Cr + 11,5-27\%$

■ Exemplos



AÇOS INOXIDÁVEIS AUSTENÍTICOS

% C= 0,08 ou no máx. 0,25

% Cr= 22, 24 ou 26

% Ni= 12, 15 ou 22

- Não são endurecíveis por TT
- O encruamento aumenta bastante a resistência
- Normalmente, possuem excelentes propriedades criogênicas e excelentes resistências mecânica e à corrosão em altas temperaturas.
- Constituem a maior família de aços inoxidáveis, tanto em número de diferentes tipos quanto em utilização

AÇOS INOXIDÁVEIS MARTENSÍTICOS

Cr= MÍN. 11,5 %

- Possuem uma estrutura cristalina martensítica na condição endurecida
- Resistentes à corrosão somente em meios de média agressividade
- São ferromagnéticos
- Aços para cutelaria e instrumentos cirúrgicos

OUTROS TIPOS DE AÇOS INOXIDÁVEIS

- Em alguns tipos de aços inox o **Ni** é **substituído pelo Mn**

Ex: Aços ao Cr, Ni, Mn tem propriedades similares aos aços Cr-Ni porém com custo menor

- Aços inoxidáveis nitrônicos → aços com 0,14-0,32% de Nitrogênio

OUTROS TIPOS DE AÇOS INOXIDÁVEIS (DUPLEX)

- São ligas bifásicas baseadas no sistema Fe-Cr-Ni.
- Estes aços possuem, aproximadamente, a mesma proporção das fases ferrita e austenita e **são caracterizados pelo seu baixo teor de carbono (<0,03%) e por adições de molibdênio, nitrogênio, tungstênio e cobre.**
- Os teores típicos de cromo e níquel variam entre 20 e 30% e 5 e 8%, respectivamente.
- A vantagem dos aços duplex sobre os austeníticos da série 300 e sobre os ferríticos, são a resistência mecânica (**aproximadamente o dobro**), maiores tenacidade e ductilidade (em relação aos ferríticos) e uma maior resistência a corrosão por cloretos.

AÇOS INOXIDÁVEIS (DUPLEX)

Criado na década de 1970, esse material é muito usado em ambientes que exigem alta resistência à corrosão, como centrífugas para produção de sabonetes em indústrias químicas e bombas hidráulicas que trabalham na indústria petrolífera e de mineração, em contato com meios lamacentos

OUTROS TIPOS DE AÇOS INOXIDÁVEIS (ENDURECÍVEIS POR PRECIPITAÇÃO- HP)

- São ligas cromo-níquel que podem ser endurecidas por tratamento de envelhecimento.
- Podem ser austeníticos, semi-austeníticos ou martensíticos, sendo que a classificação é feita de acordo com a sua microestrutura na condição recozida.
- Para viabilizar a reação de envelhecimento, muitas vezes se utiliza o trabalho a frio, e a adição de elementos de liga como alumínio, titânio, nióbio e cobre.

Aços *Bake-Hardening*

- Combinam resistência mecânica e conformabilidade e são adequados para a indústria automobilística para uso em painéis expostos, como portas, tetos e capôs.
- O material endurece por envelhecimento durante a cura da pintura, possibilitando redução em espessura/peso, sem perda da resistência

APLICAÇÕES

FERRÍTICOS

- Corrosão atmosférica
- Temperatura elevada
- Decoração

• 405
• 409
• 430
• 430F
• 446

MARTENSÍTICOS

- Componentes estruturais
- Instrumentos de corte
- Ferramentas

• 403
• 410
• 414
• 416
• 420
• 431
• 440A
• 440B
• 440C

AUSTENÍTICOS

- Resistência química
- Tanques
- Piping

• 310
• 314
• 316
• 317
• 321
• 347
• 304L
• 316L
• 201
• 202
• 301
• 302
• 303
• 304
• 305
• 308
• 309

PH

- Componentes estruturais
- Molas

• 17-4
• 15-5
• 13-8
• 17-7
• 15-7 Mo

APLICAÇÕES

TIPOS

AÇOS MARAGING

- Classe especial de aços de ultra alta resistência

- 18-20%Ni, 8-10%Co, 3-5%Mo, presença de Ti, 0,05%C max

- Obtêm a resistência pela precipitação de compostos intermetálicos após tratamento térmico

- Antes do tratamento pode ser facilmente trabalhado

- Resist. mecânica e tenacidade superiores aços temperados

- Resist. corrosão idêntica aos aços temperados

- Excelente soldabilidade e razoável ductilidade

- Tensão de cedência entre 1000 e 2400MPa

- Aplicação quase exclusiva na indústria aeroespacial

Especificação através da norma ASTM A538 em Grade A, B e C

AÇOS HADFIELD (C-Mn)

- Aços de alta liga com %C entre 1 e 1,4 e %Mn entre 12 a 14
- Apresentam grande resistência e elevada tenacidade
- Fáceis de soldar => aplicação em peças sujeitas ao desgaste
- Resistência à corrosão idêntica aos aços ao carbono

- **O Mn traz a austenita até à temp. ambiente. A austenita transforma-se em martensita por deformação plástica**
- Aplicados em ferramentas pneumáticas, dentes de escavadoras, mandíbulas de máquinas de britar, agulhas de caminho de ferro, etc

Especificação através da norma ASTM A128 em vários Graus

FERROS FUNDIDOS

- **Ferros fundidos:**

- Características, composição, microestrutura;
- Efeito resfriamento, elementos de liga;
- Tipos: FF branco, cinzento, mesclado, nodular, maleável, grafita compactada.
- Aplicações, propriedades.

MATERIAIS METÁLICOS

FERROSOS

Ligas Fe-C

Ferros Fundidos

- Brancos
- Cinzentos
- Nodulares
- Maleáveis

Aços

- Carbono
- Baixa liga
- Alta Liga

Outras Fe

Fe-Cr (-Ni) (INOX)

- Ferríticos
- Austeníticos
- Martensíticos
- Duplex
- PH

Fe-Ni

Fe-C-Mn

NÃO FERROSOS

Ligas leves

Ligas Al

Ligas Ti

Ligas Mg

Ligas Be

Ligas Cu

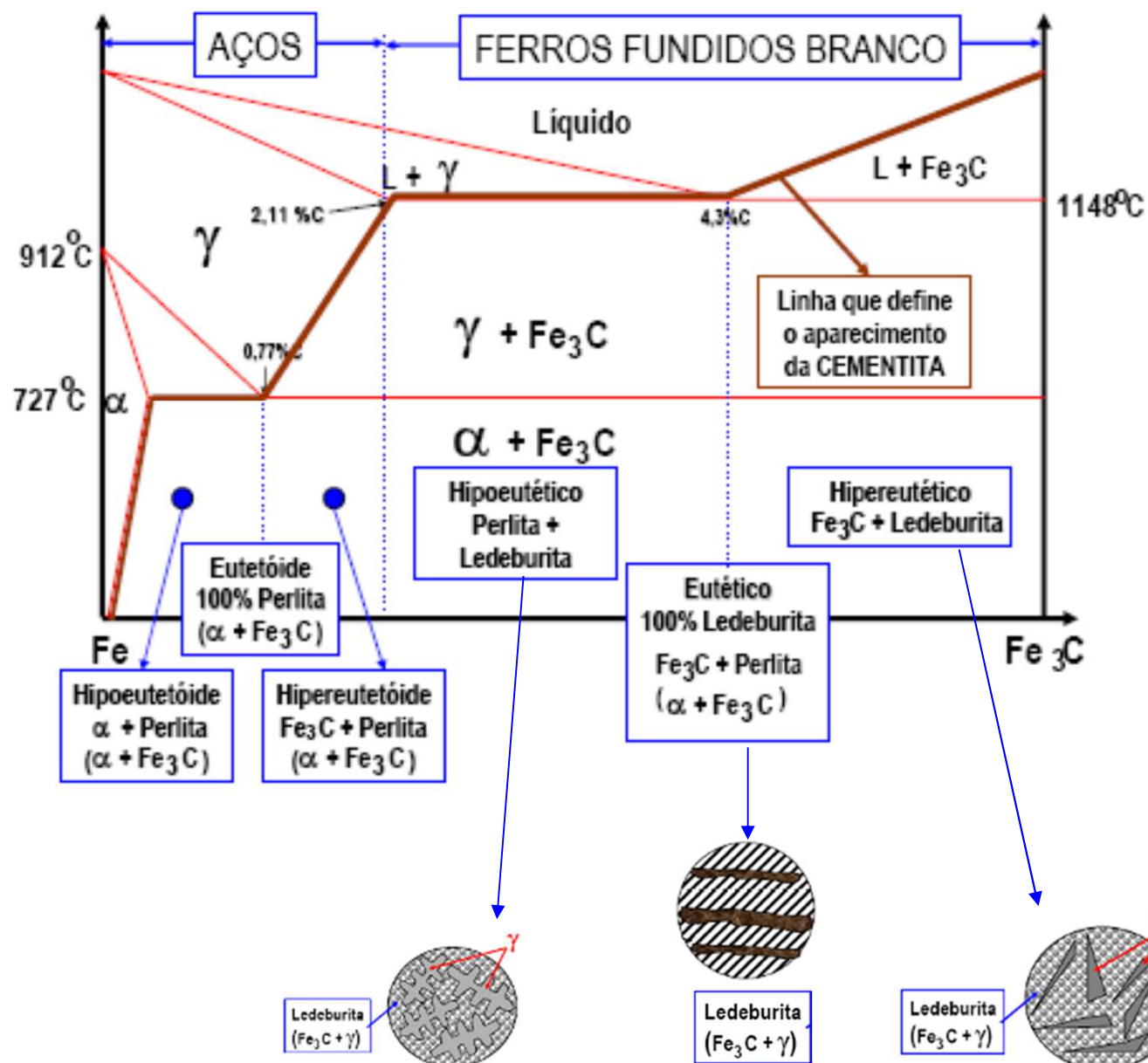
Bronzes

Latões

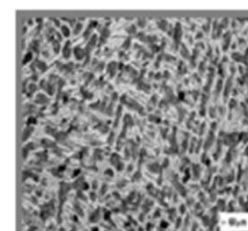
Ligas Zn

Cu-Ni

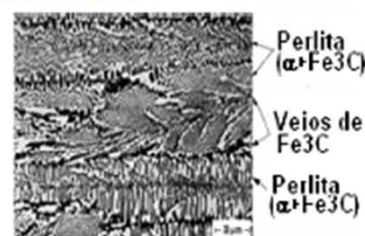
Ligas Ni



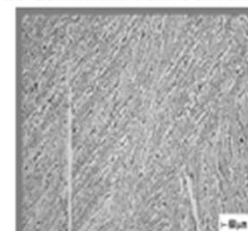
FoFo Branco Hipoeutético
Dentritas de Perlita com Contorno Ledeburítico

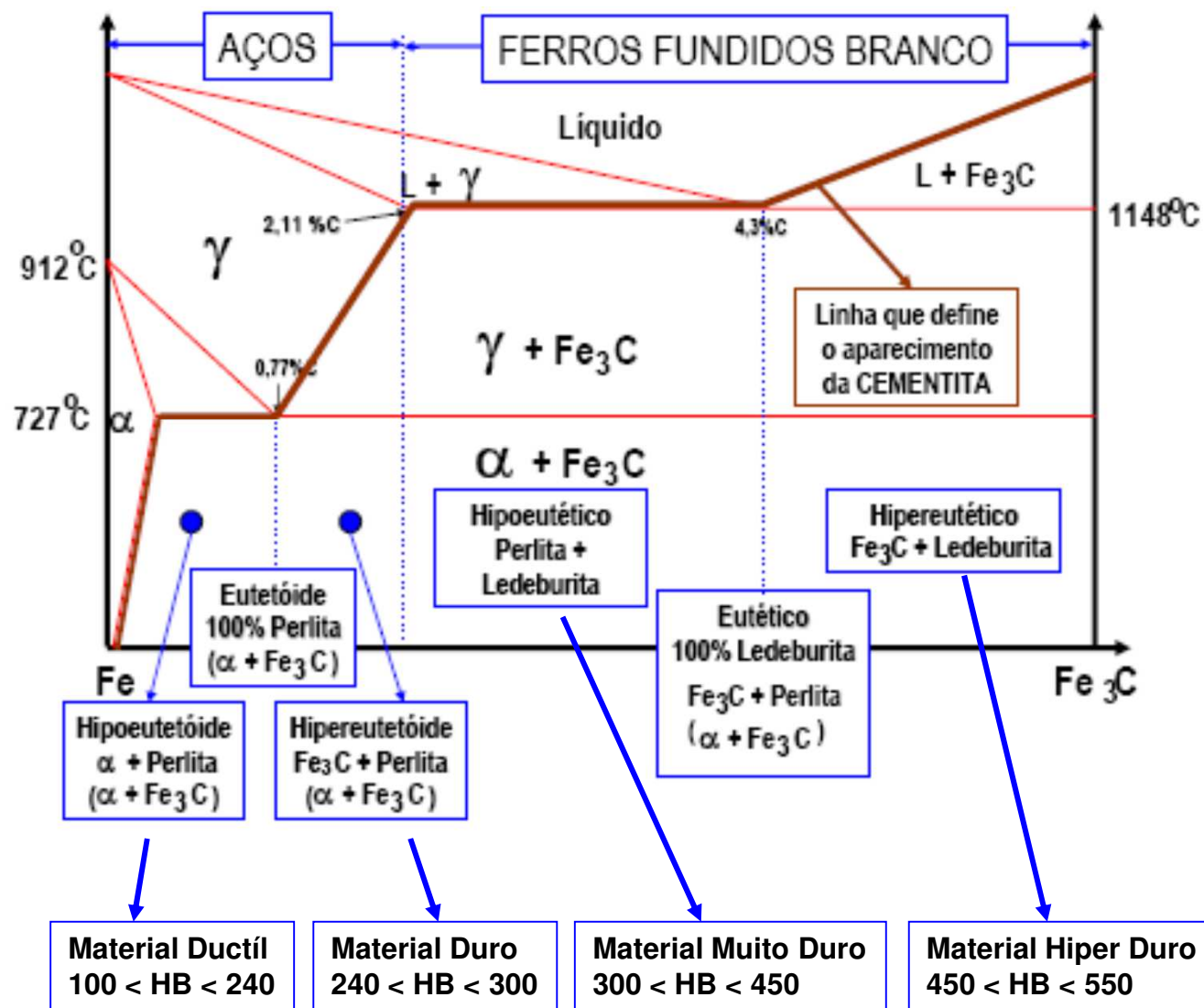


FoFo Branco Eutético 100% Ledeburítico

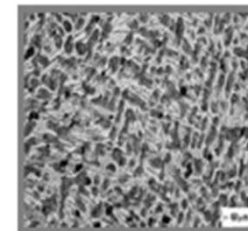


FoFo Branco Hipereutético
Aguilhas de Cementita com Contorno Ledeburítico

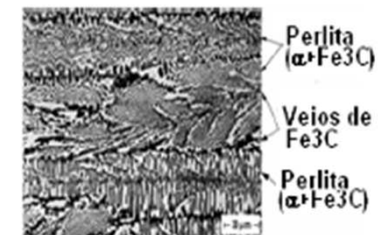




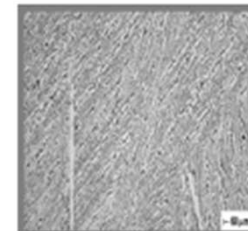
FoFo Branco Hipoeutético
Dentritas de Perlita com Contorno Ledeburítico



FoFo Branco Eutético 100% Ledeburítico



FoFo Branco Hipereutético
Aguilhas de Cementita com Contorno Ledeburítico



➔ Para condições normais de solidificação

Características

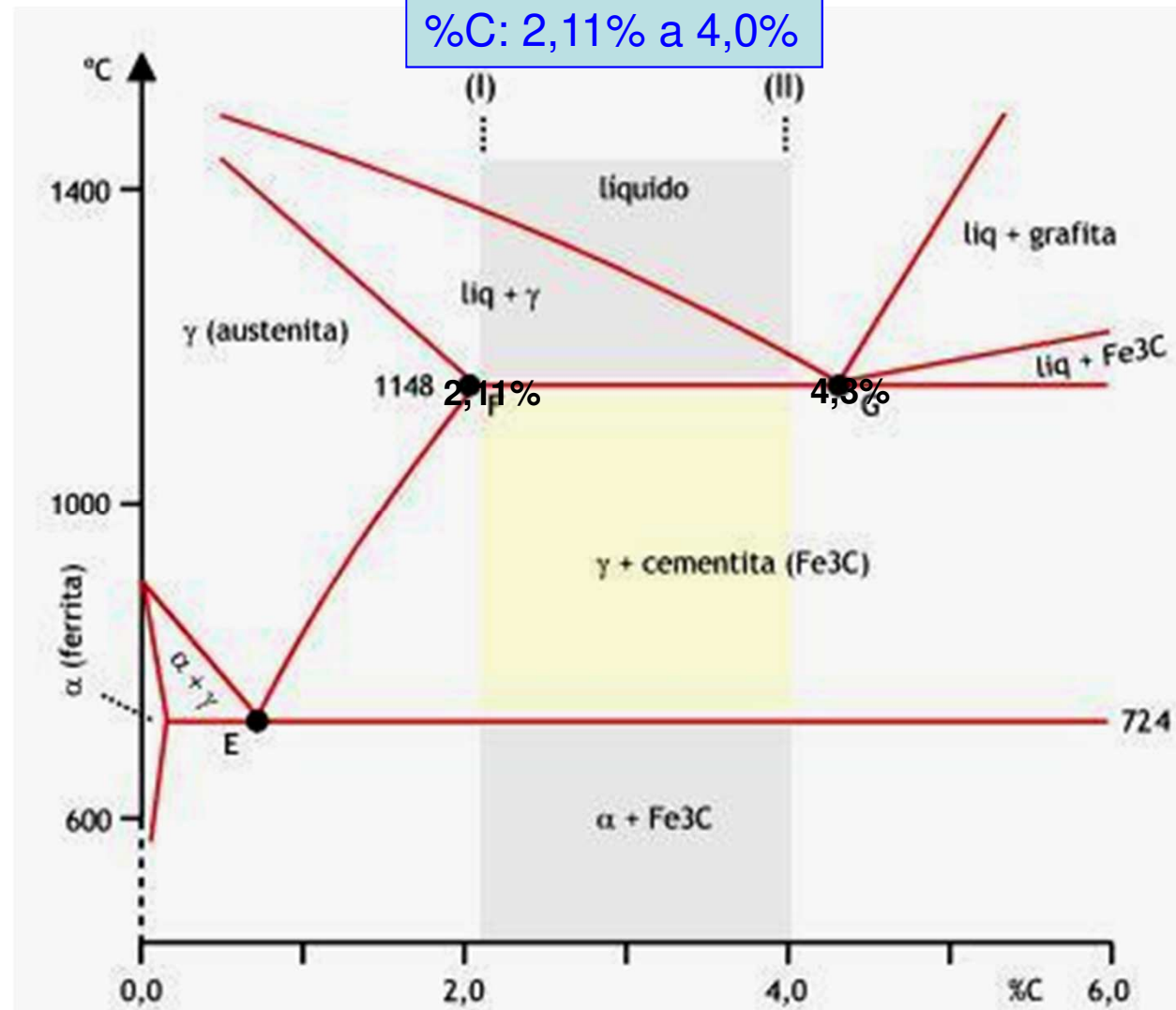
Microestrutura da **Ledeburita**: Fundo de cementita, com 6,67 % de C (Fe_3C) e cristais dendríticos (forma de glóbulos) de austenita contendo 2,11% de C.

Na solidificação esta austenita perderá carbono e na temperatura da linha “solidus” 727°C se transformará em perlita (com 0,77% C).

Assim nas temperatura abaixo de 727°C a Ledeburita será agora constituída de glóbulos de perlita sobre um fundo de cementita.

Ferros Fundidos Comerciais

%C: 2,11% a 4,0%



Características

- É uma liga de Fe-C-Si
- É considerada uma liga ternária devido a presença do Si;
- Os teores de Si podem ser maiores que o do próprio C;
- O Si influi muito nas propriedades dos fofos;
- Os fenômenos de transformação da austenita, no resfriamento lento, são mais complexos, pois origina constituinte novo – carbono livre ou grafita – cuja a forma, quantidade e disposição alteram profundamente as propriedades dos materiais;

Composição típica dos fofos

• C →	2-4%
• Si →	0,5-3%
• Mn →	<1%
• S →	< 0,2%

- O teor de C (>2%) está acima do teor que pode ser retido em solução sólida na austenita.

↓ Consequência

- O fofa tem Carbono parcialmente livre



- Na forma de veios ou lamelas de Grafita

Classificação dos fofos

Os fofos são classificados segundo:

- Composição química;
- Taxa de resfriamento;
- Adição de inoculantes.

Obs: A inoculação consiste na adição de um material no metal líquido, no próprio forno ou panela de fundição, pouco antes do vazamento nos moldes, para a nucleação de grafita (facilitar a grafitização) e obter ferros fundidos **cinzentos** de melhores propriedades mecânicas.

-Inoculantes grafitizantes comuns: grafita, silício metálico, ferro-silício

-Inoculantes grafitizantes especiais (maior efeito grafitizante): Ca-Si, Ca-Si-Ti, Ca-Si-Mn, Si-terras raras, etc;

-Inoculantes estabilizadores (perlitizantes): para fofos (4,0~4,5%C): Cr-Si, Cr-Si-Mn, Cr-Si-Mn-Zr, etc

Microestrutura dos fofos

- A microestrutura dos fofos é controlada:
 - Pela composição química
 - Pelo processo de fabricação

Efeitos dos elementos de liga

- Composição química é um dos fatores mais importantes para determinar a estrutura dos fofos;
- Carbono, silício, manganês, fósforo e enxofre;

Efeitos dos elementos de liga

- **Carbono** – como nos aços, é o elemento de liga básico; determina obviamente, a quantidade de grafita que pode se formar;
- **Silício** – É o elemento grafitizante por excelência, ou seja, favorece a decomposição do carboneto de ferro; sua presença, independentemente do teor de carbono, pode fazer o Fofó tender de fofó cinzento ou branco;
- **Enxofre**- nos teores normais, não tem ação significativa.

Propriedades dos FoFos

- Baixo custo;
- Ponto de fusão mais baixo que o aço;
- Boa fluidez;
- Versatilidade de propriedades e aplicações.

Velocidade de resfriamento

- Sua influência está relacionada com a espessura da peças que solidificam no interior dos moldes;
- Pequenas seções significam altas velocidades de resfriamento, ao contrário das seções espessas;

Alta velocidade de resfriamento

- Corresponde as seções mais finas e ao contato com as paredes dos moldes, originam-se as chamadas seções coquilhadas, em que houve pouca, ou nenhuma decomposição da cementita. Esse fato leva ao aparecimento do Fofo Branco.

Baixas velocidades de resfriamento

- Nas seções espessas dá-se tempo suficiente para a decomposição da cementita, ocorrendo então a grafitização: um ferro fundido nessas condições apresentara fratura escura, devido a presença de carbono livre, e corresponderá ao ferro fundido cinzento, ao contrário do anterior, cuja fratura será branca pela quase total ausência de grafita.

Efeito da velocidade de resfriamento

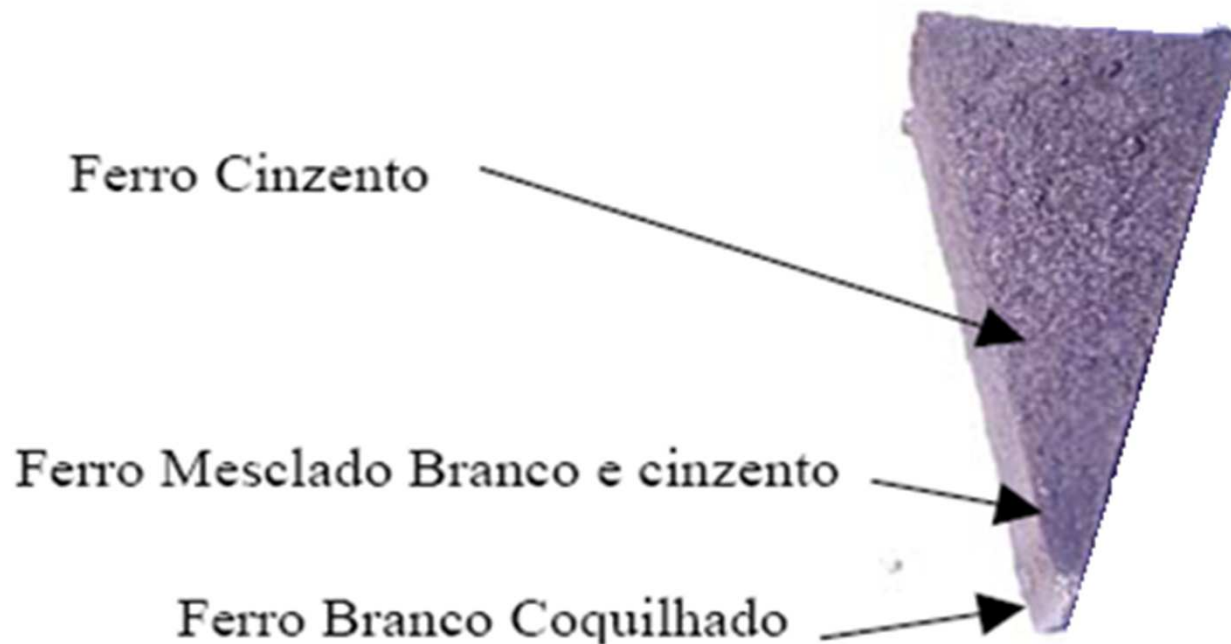
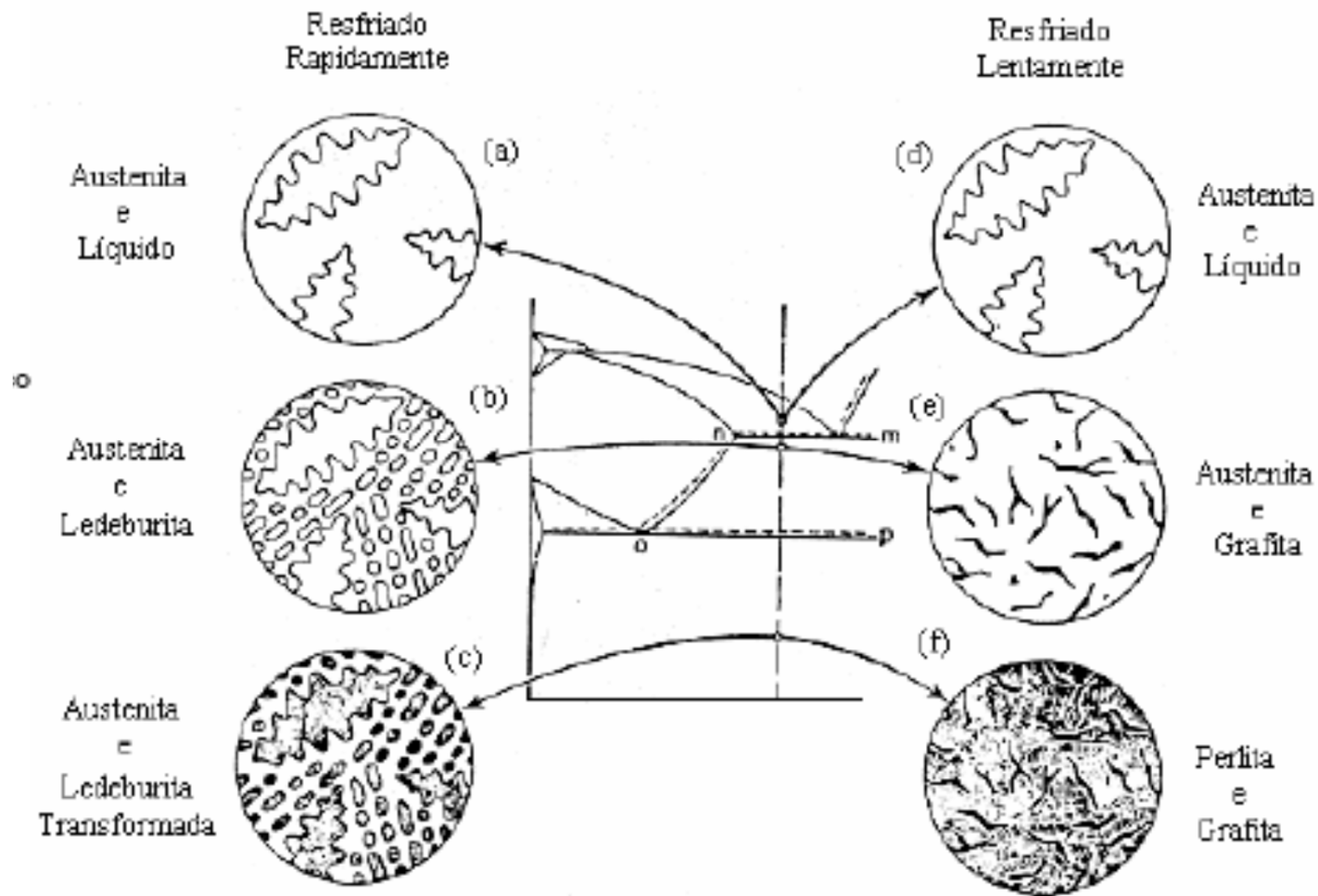


Fig. – Esquema da seção transversal do teste da cunha.

Efeito da velocidade de resfriamento



Resumidamente

- Os dois fatores mais importantes, sob o ponto de vista da estrutura do ferro fundido, são: o teor de silício e a velocidade de resfriamento.

Fatores que favorecem formação da Grafita

- Alto teor de C
- Alto teor de Si
- Resfriamento lento
- Seções espessas
- Presença de : S, P, Al, Mg, Sb, Sn, Cu, Ni, Co
- Adição de Inoculantes

Fatores que favorecem formação da Cementita

- Baixo teor de C
- Baixo teor de Si
- Resfriamento rápido
- Seções finas
- Adição de : Ti, V, Cr, Mn, Mo

Classificação dos Fofos quanto ao tipo de liga

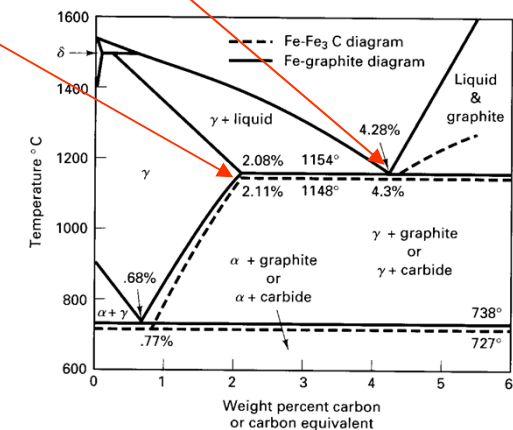
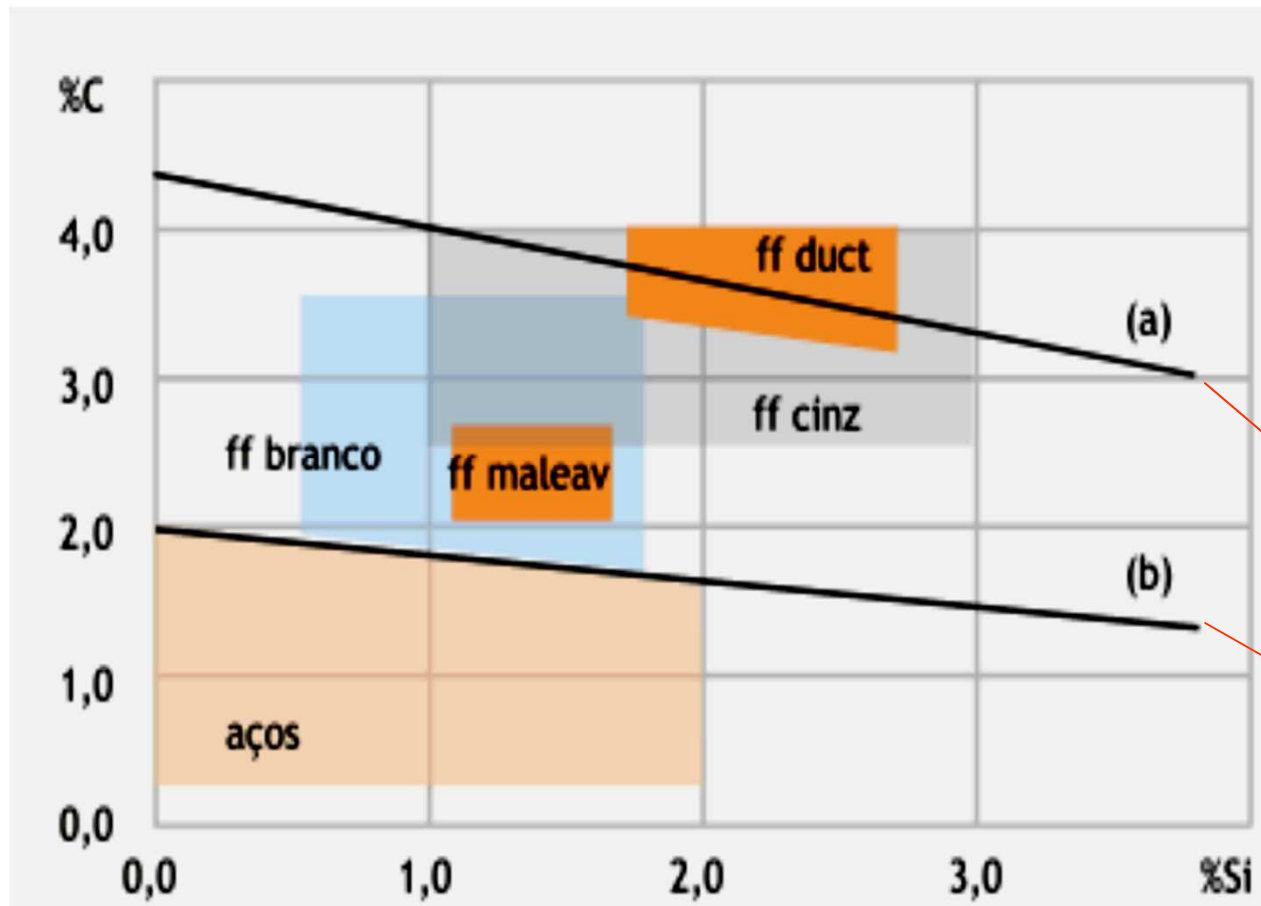
- Fofa branca
- Fofa cinzenta
- Fofa mesclada
- Fofa dúctil ou nodular
- Fofa maleável
- Fofa grafita compactada

Classificação dos Fofos quanto ao tipo de liga

Faixa de composição de ferros fundidos típicos comuns:

TIPO FOFOs	C	Si	Mn	S	P
Branco	1,8-3,6	0,5-1,9	0,25-0,80	0,06-0,20	0,06-0,18
Maleável	2,0-2,6	1,1-1,6	0,20-1,0	0,04-0,18	0,18 máx.
Cinzento	2,5-4,0	1,0-3,0	0,25-1,0	0,02-0,25	0,05-1,0
Nodular/Dúctil	3,0-4,0	1,8-2,8	0,10-1,0	0,03 máx.	0,10 máx.
Grafita Compactada	2,5-4,0	1,0-3,0	0,20-1,00	0,01-0,03	0,01-0,10

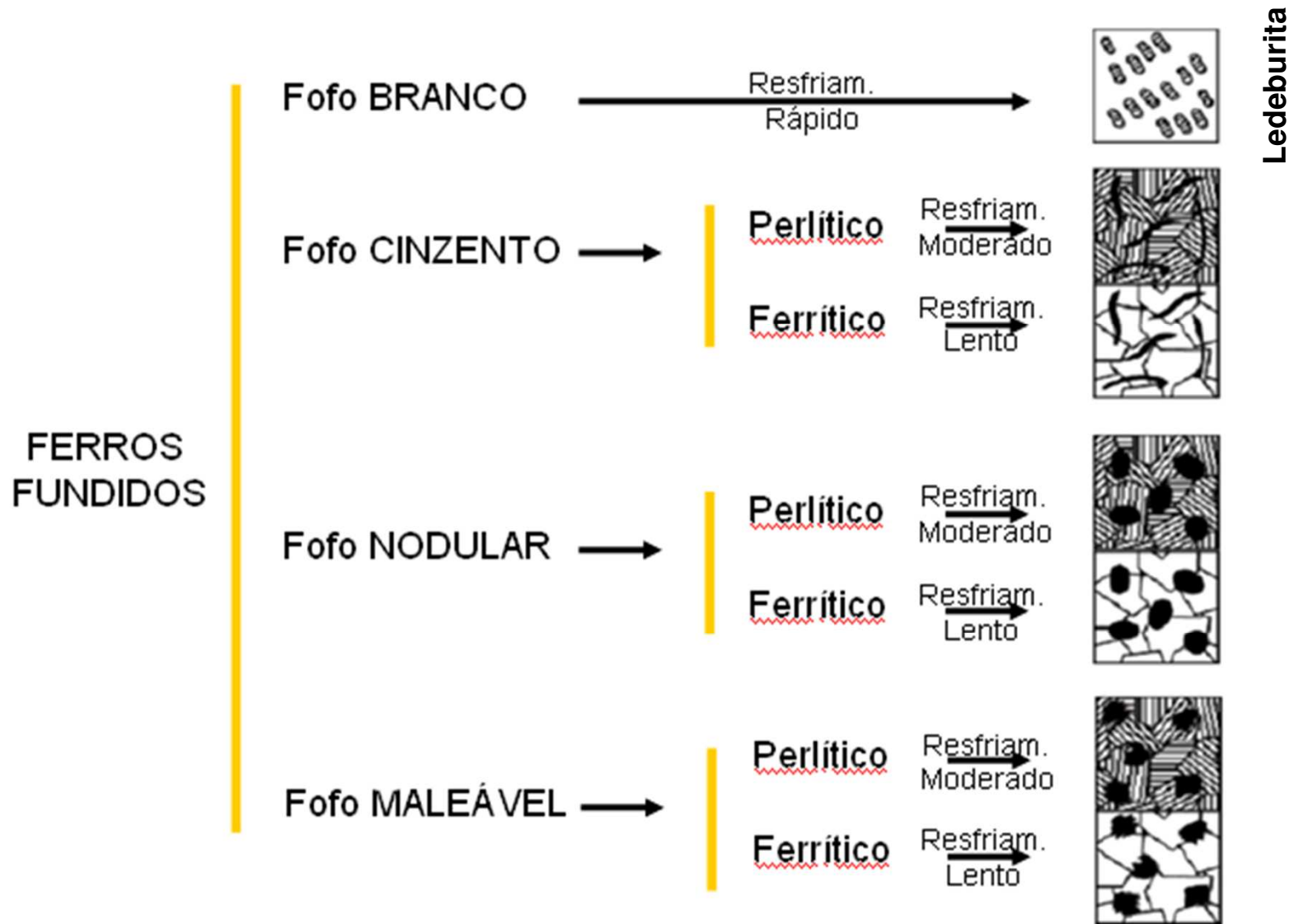
Classificação dos Fofos quanto ao tipo de liga



Classificação dos Fofos quanto ao tipo de liga

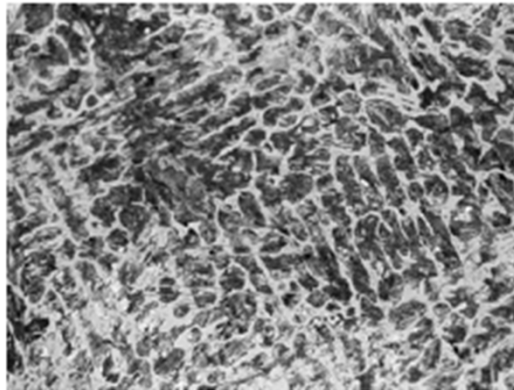
- Fofo branco**: fratura cor clara, elementos de liga C e Si, estrutura de C combinado (Fe_3C);
- Fofo cinzento**: fratura cor escura, principais elementos C e Si, estrutura com C livre (grafita lamelar) e no estado combinado (Fe_3C);
- Fofo mesclado**: coloração mista entre cinzento e branco, estrutura mesclada entre os 2 tipos acima;
- Fofo dúctil ou nodular**: grafita esferoidal (devido a TT no estado líquido), boa ductilidade;
- Fofo maleável**: obtido a partir do fofo branco, mediante TT de maleabilização, transformando todo Ferro combinado em grafita em nódulos;
- **Fofo grafita compactada**: grafita em “escamas” (plaquetas ou vermicular), adição de elementos como terras raras e Ti para reduzir grafita esferoidal. Intermediário entre fofo cinzento e nodular.

FERROS FUNDIDOS - resfriamento

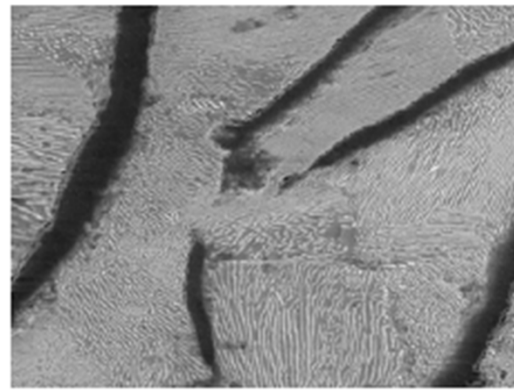


FERROS FUNDIDOS - estrutura

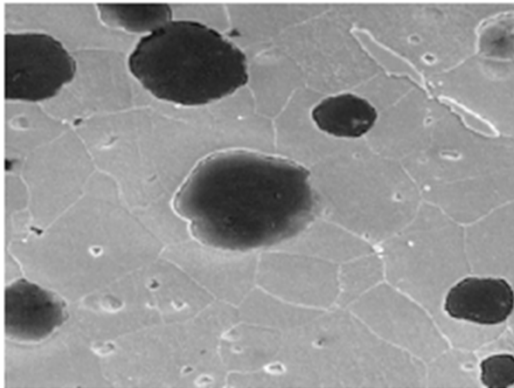
Branco
(perlita e ledeburita)



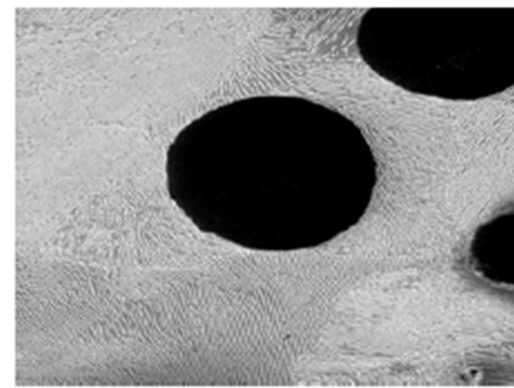
Cinzento
(veios grafita e perlita)



Nodular
(ferrita e nódulos grafita)



Nodular
(perlita e nódulos grafita)



FERRO FUNDIDO BRANCO

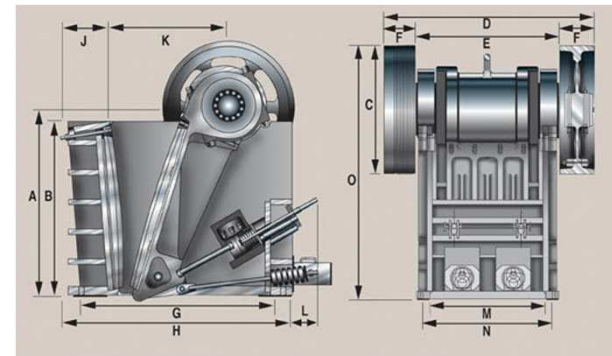
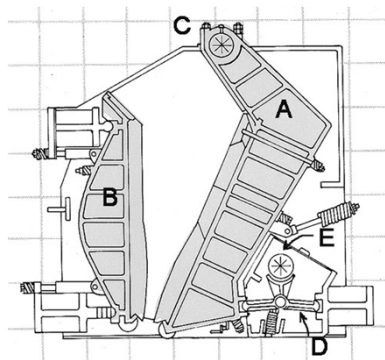
- Carbono na forma Fe_3C , mostrando uma fratura clara ou branca;
- Suas propriedades básicas são: elevadas dureza e resistência ao desgaste, o que em consequência, os tornam difíceis de usinar, mesmo com os melhores materiais de corte;
- Na produção dos fofos brancos tem-se a adição de alguns elementos de liga: níquel, cromo e molibidênio - estes em combinação, dão resistência ao desgaste e a corrosão – que buscam evitar a grafitização.

FERRO FUNDIDO BRANCO

- Cilindros de laminação, rodas de vagões, peças empregadas em equipamentos para britamento de minério e moagem de cimento.



Britador de mandíbula



FERRO FUNDIDO BRANCO

MICROESTRUTURA

- $2,0 \leq \%C \leq 3,5$; $0,5 \leq \%Si \leq 2,0$; $0,5\%Mn$ (anti-grafitizante) ;
- Alta veloc. resfriamento => Carb. solidifica sob a forma de cementita;
- A extrema dureza e fragilidade da cementita caracterizam este ff;
- Em peças de maior tamanho pode obter-se ff branco à superfície e ff cinzento no núcleo.

FERRO FUNDIDO BRANCO



DUREZA

BRINELL: 450

RC: 44

FERRO FUNDIDO BRANCO

PROPRIEDADES

- Grande resist. à compressão e ao desgaste (cementita)
- Extremamente frágil
- Não pode ser usinado
- Soldagem impossível
- Baixo custo

APLICAÇÕES

- Principal aplicação é a produção de ferro fundido maleável
- Peças sujeitas a elevada compressão e atrito
- Esferas de moinhos e rolos de laminadores
- Elevada taxa de resfriamento necessária limita o tamanho das peças.

FERRO FUNDIDO CINZENTO

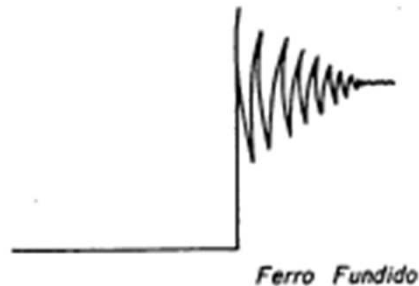
- Esta liga Fe-C-Si, pela sua fácil fusão e moldagem, excelente usinabilidade, resistência mecânica satisfatória, boa resistência ao desgaste e boa capacidade de amortecimento, é dentre os ferros fundidos os mais usados.

FERRO FUNDIDO CINZENTO

- **É caracterizado pelos fatores que favorecem a formação da grafita**
 - A fratura é de cor cinzenta
 - É barato
 - É o mais usado
 - É de boa resistência Mecânica (até 40 Kgf/mm²) e ao desgaste
 - É de fácil usinagem e difícil soldagem
 - É obtido pelo resfriamento lento
 - É de fácil fusão
 - **Elevado coeficiente de amortecimento**

FERRO FUNDIDO CINZENTO

Elevado coeficiente de amortecimento (os veios de grafita absorvem o impacto e o som)



A grafita apresenta baixa resistência mecânica, ou seja, age como vazios na estrutura do material.

Base para máquinas-ferramentas

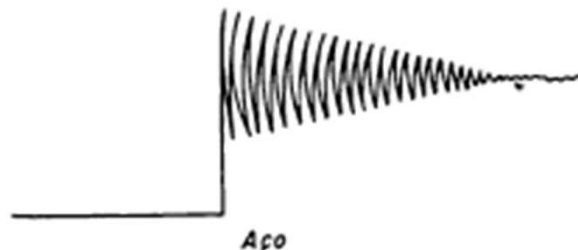


FIG. — Capacidade de amortecimento do ferro fundido em comparação com a do aço, pelo método de ensaio Foeppel-Pertz.

FERRO FUNDIDO CINZENTO

Aplicações

- Ferro fundido mais usado (75%)
- Fundição de componentes mecânicos em geral
- Blocos de motores
- Engrenagens de grandes dimensões
- Máquinas agrícolas
- Carcaças e suportes de máquinas



FERRO FUNDIDO CINZENTO

Composição típica

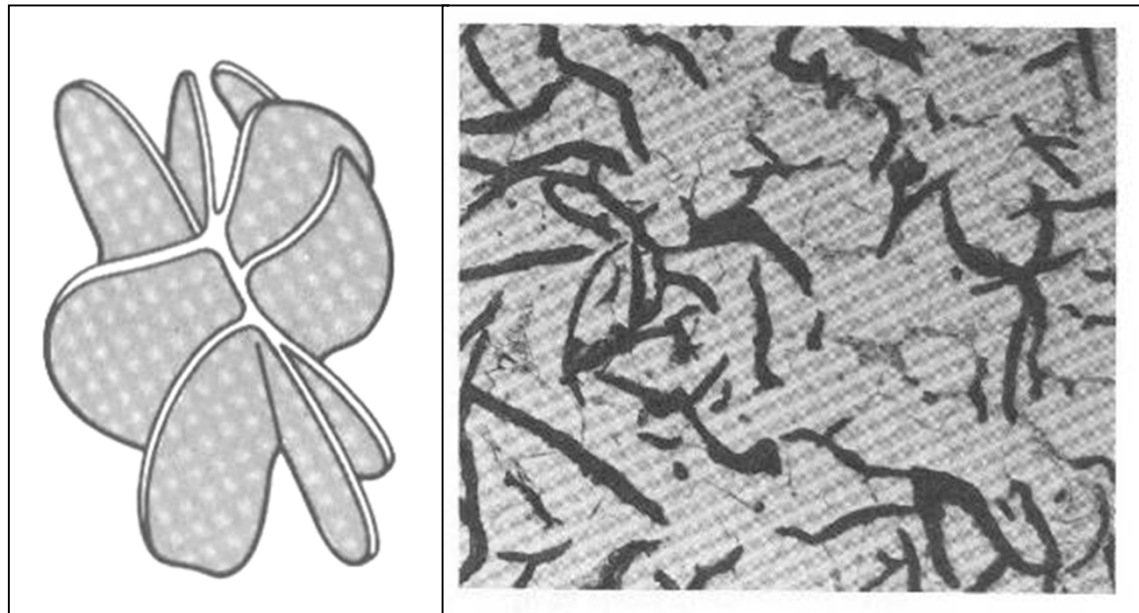
- C → 2,5-4%
- Si → 1-3%
- Mn → 0,4 -1%

Alto teor de Si melhora

- Resistência à corrosão
- Fluides

FERRO FUNDIDO CINZENTO

- Grafita lamelar devido ao C livre na matriz de ferrita, perlita ou outra estrutura proveniente da austenita.



FERRO FUNDIDO CINZENTO

NOMENCLATURA

- Não se faz pela composição química, mas sim pela resistência
 - ASTM A48 Classe 20, 30, ...
 - A Classe determina a resistência à tração mínima, em 1000 psi
- **FCXX**
 - **XX= Limite máximo de resistência à tração**

FERRO FUNDIDO CINZENTO

CLASSIFICAÇÃO DOS FOFOS CINZENTOS SEGUNDO ABNT

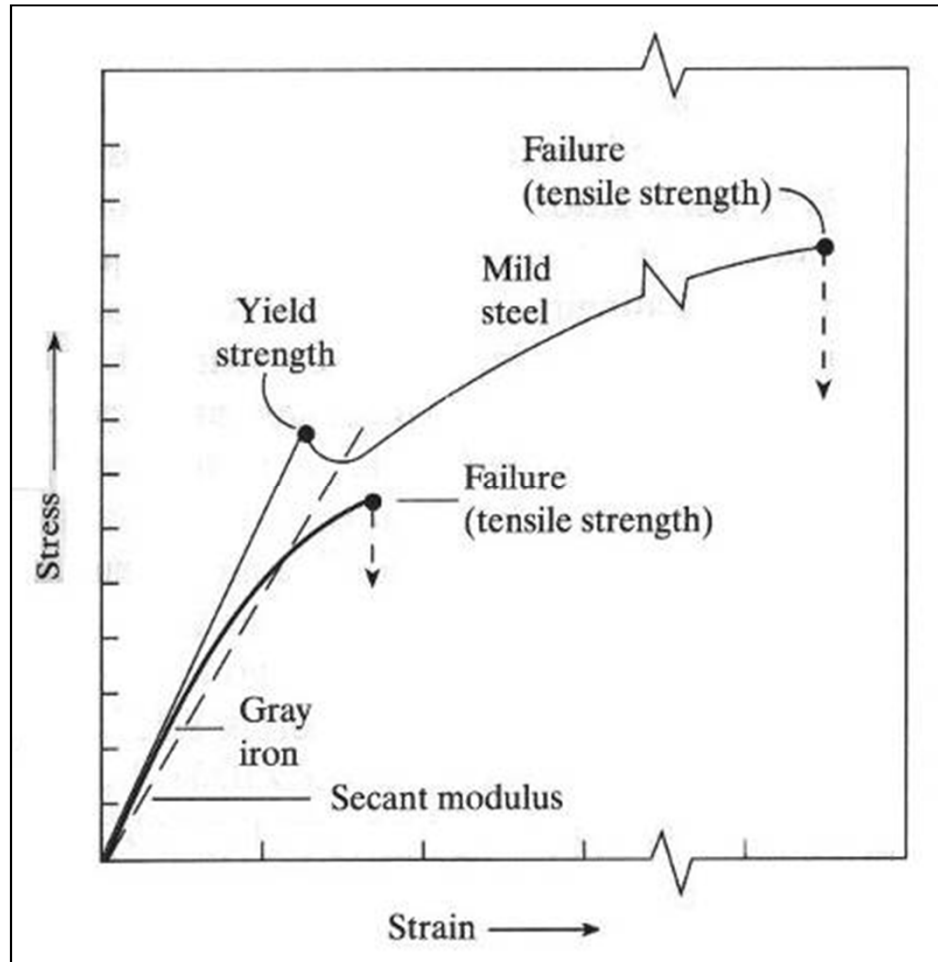
FCXX

XX= Limite máximo de resistência à tração (em kpsi)

CLASSE	PROPRIEDADES	APLICAÇÕES
FC10 FC15	- Excelente fundibilidade - Boa usinabilidade	Bases de máquinas Carcaças de metálicas
FC20 FC25	- Excelente fundibilidade - Boa usinabilidade - Boa resistência Mecânica	Elementos estruturais: barramentos, cabeçotes e mesas de máquinas operatrizes
FC30 FC35	- Elevada dureza - Elevada resistência mecânica	Engrenagens, pequenos virabrequins, bases pesadas de máquinas, colunas de máquinas, buchas e grandes blocos de motor
FC40	- Maior resistência - Maior tendência ao coquilhamento	- Peças diversas de espessuras médias e grossas

FERRO FUNDIDO CINZENTO

Classe	Resist. tração (psi)	(MPa)
20	20 000	138
25	25 000	172
30	30 000	207
35	35 000	241
40	40 000	276
45	45 000	310
50	50 000	344
55	55 000	380
60	60 000	414



FERRO FUNDIDO CINZENTO

Aplicações

- Anéis de pistão, produtos sanitários, tampas de poços de inspeção, tubos, conexões, carcaças de compressores, rotores, pistões hidráulicos, engrenagens, eixos de comandos de válvulas, virabrequins, etc



FERRO FUNDIDO MESCLADO

Características

- A composição varia entre fofo cinzento e fofo branco;
- A fratura é de cor mista;
 - As propriedades são intermediárias.

Propriedades

- Boa ductilidade;
- Boa resistência à tração;
- Boa dureza;
- Boa resistência à fadiga;
- Boa resistência ao desgaste;
- Boa usinabilidade.

FERRO FUNDIDO DUCTIL (ou nodular, ou esferoidal)

CARACTERÍSTICAS

- $3,5 \leq \%C \leq 4,0$; $1,8 \leq \%Si \leq 3,0$

Carbono livre na forma esferoidal

↓ Devido

Ao tratamento feito no estado líquido



Inoculação da liga Fe-Mg-Si (+ comum)

- Em vez de flocos de C formam-se nódulos
- A matriz é ferrítica (veloc. baixa) ou perlítica (veloc. moderada)
- **Grafita em nódulos proporciona maior resistência, ductilidade e tenacidade**

FERRO FUNDIDO DUCTIL (ou nodular, ou esferoidal)

PROPRIEDADES

- Alta resistência, tenacidade e ductilidade
- Excelente usinabilidade
- Possibilidade de deformação a quente
- Grande resistência ao desgaste
- Fluidéz boa
- Soldabilidade melhorada
- Baixo custo (superior ao ff cinzento)

FERRO FUNDIDO DUCTIL (ou nodular, ou esferoidal)

APLICAÇÕES

- Válvulas, carcaça de bombas, virabrequins, engrenagens, pinhões, cilindros e outros componentes de máquinas e automóveis.

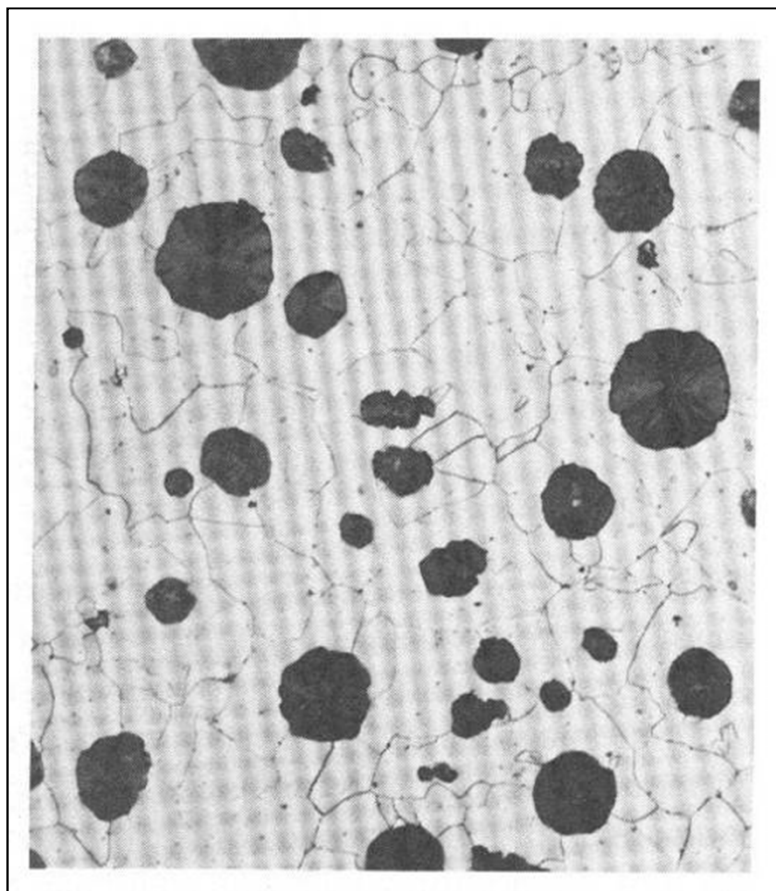


FERRO FUNDIDO DUCTIL (ou nodular, ou esferoidal)

TRATAMENTOS TÉRMICOS

- Recozimento para alívio de tensões ou para melhorar a ductilidade
- Têmpera e revenido
- Tratamentos térmicos atuam apenas na matriz=>**obtenção de grafita em nódulos é irreversível**

FERRO FUNDIDO DUCTIL OU NODULAR

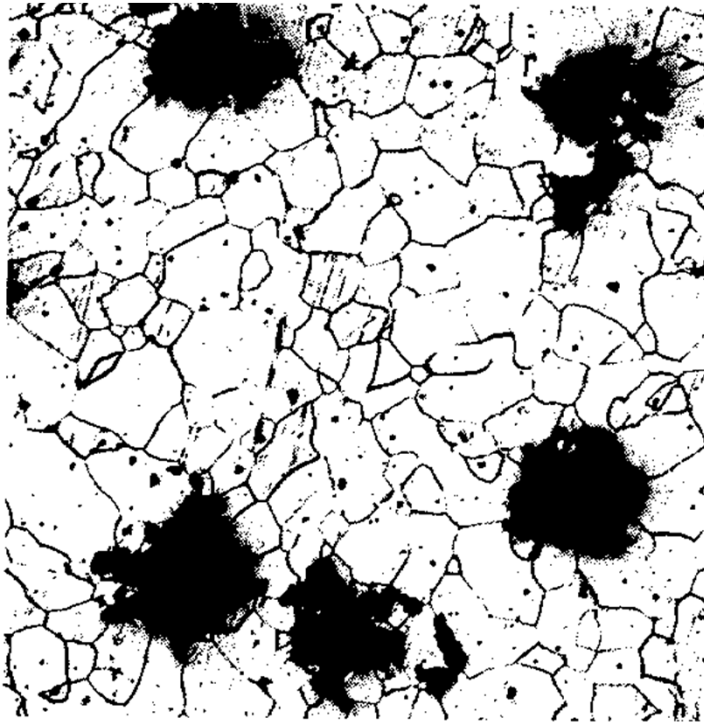


FERRO FUNDIDO MALEÁVEL

MICROESTRUTURA

- % elementos constituintes idênticas ao ferro fundido branco
- Obtido do ff branco por tratamento térmico de maleabilização
- A microestrutura obtida resulta da decomposição da cementita em rosetas de grafite, numa matriz de ferrita, perlita ou martensita

FERRO FUNDIDO MALEÁVEL



A alta taxa de resfriamento necessária para produzir inicialmente a estrutura do foyo branco restringe o tamanho e a espessura das peças de foyo maleável (menores de 4,5 Kg).

DUREZA

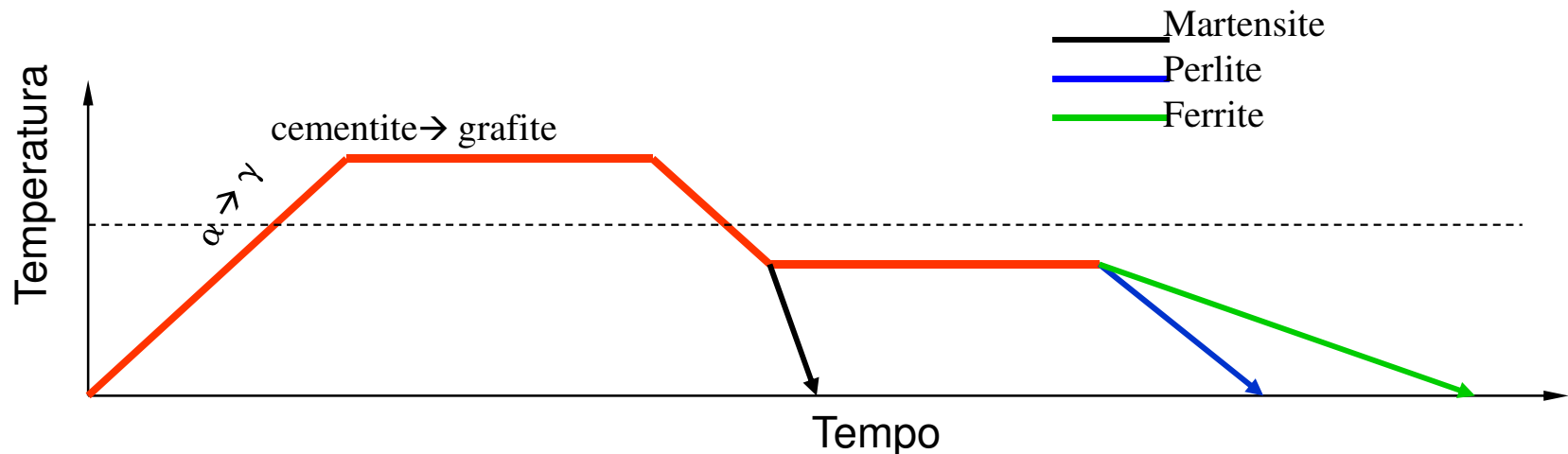
BRINELL: 300

RC: 30

FERRO FUNDIDO MALEÁVEL

PROPRIEDADES

- Variando a taxa de resfriamento, pode obter-se um largo espectro de propriedades
- Boa resistência à corrosão
- Boa usinabilidade e fluidez
- Propriedades similares ao ff dúctil
- Alta resistência, tenacidade e ductilidade



FERRO FUNDIDO MALEÁVEL

APLICAÇÕES

- Aplicação similares ao ff dúctil
- Peças sujeitas a alta temperatura
- Elementos de ligação
- Juntas universais
- Pequenas ferramentas



FERRO FUNDIDO MALEÁVEL

Processo de maleabilização:

Tratamento térmico ao qual se submete certos ferros fundidos brancos com carbono na forma primária de ferrita e cementita e que consiste num aquecimento prolongado, em condições de temperatura, tempo e meio controladas, de modo a provocar transformação de parte do carbono combinado em grafita.

Metais e ligas não ferrosas

Informações gerais

- **São ligas onde o ferro não é o elemento majoritário**
- Características gerais em relação aos aços e ferros fundidos:
- Possuem melhor resistência à corrosão
- Possuem pior resistência mecânica
- Menor resistência a fluência a alta temperatura
- Melhor comportamento a baixas temperaturas (na sua maioria são C.F.C., não tem a transição tenaz-frágil)

Cobre e ligas de cobre

- Cobre comercial
- Latões (ligas cobre – zinco)
- Bronzes (originalmente ligas cobre estanho)
- Ligas cupro-níquel.

METAL COBRE

- Condutor de calor e eletricidade
- Excelente deformabilidade
- Boa resistência à corrosão
- Boa usinabilidade
- Resistência mecânica satisfatória

Cobre comercial – grande condutividade térmica e elétrica



- Pelo menos 98% de cobre
- T_{máx.} de emprego 200°C
- T_{min.} de emprego -200°C (C.F.C.)
- Soldagem difícil (alta condutividade térmica)
- Condutores elétricos trocadores de calor

Ligas de Cobre de Baixo Teor em Liga

- Liga cobre-arsênico desoxidado com fósforo - **0,013 e 0,050% Arsênico, melhorar as propriedades mecânicas a temperaturas elevadas e a resistência à corrosão**
- Liga cobre-prata tenaz- **0,02 a 0,12% de Prata, confere maior resistência mecânica e resistência à fluência. Aplicação na indústria elétrica (bobinas)**
- Liga cobre-cromo (CuCr) - **0,8% de Cromo, presta-se a tratamento de endurecimento por precipitação, o qual provoca elevação de resistência mecânica.**
- Liga cobre-chumbo (CuPb) - **0,8 a 1,2% de Chumbo, com objetivo de melhorar a usinabilidade do cobre, aplicada em componentes elétricos: conectores, componentes de chaves, parafusos.**

LIGAS DE COBRE DE ALTO TEOR EM LIGA

Latões

- Os latões comuns são ligas de cobre-zinco, podendo conter zinco em teores que variam de 5% a 50%, o que significa que existem inúmeros tipos de latões.



LATÕES ESPECIAIS

N. ASTM	Designação	Sigla	Composição %	Propriedades mecânicas			
				Limite de resistência à tração kgf/mm ²	Limite de escoamento kgf/mm ²	Alongamento %	Dureza Brinell
210	Cobre-zinco 95-5	CuZn5	Cu-94,0-96,0 Zn-restante	27-55	10-38	45-3	65-120
220	Cobre-zinco 90-10	CuZn10	Cu-89,0/91,0 Zn-restante	27-57	9-42	50-4	55-125
230	Cobre-zinco 85-15	CuZn15	Cu-84,0/86,0 Zn-restante	31-60	10-42	50-4	60-135
240	Cobre-zinco 80-20	CuZn20	Cu-78,5/81,5 Zn-restante	31-64	12-48	52-3	65-155
260	Cobre-zinco 70-30	CuZn30	Cu-68,5/71,5 Zn-restante	33-85	12-54	62-3	65-160
268 270 ^e	Cobre-zinco 67-33	CuZn33	Cu-65,5/68,5 Zn-restante	34-86	13-55	60-3	65-165
272 274 ^e	Cobre-zinco 63-37	CuZn37	Cu-62,0/65,5 Zn-restante	34-86	13-55	56-5	65-165
280	Cobre-zinco 60-40	CuZn40	Cu-59,0/62,0 Zn-restante	38-60	16-45	40-4	85-145

Propriedades dos latões

- Quanto maior o teor de zinco menor a resistência à corrosão
- Quanto maior o teor de zinco maior a resistência mecânica, sem queda apreciável na ductilidade.
- Quanto maior o teor de zinco menor o preço do latão.
- Temperatura máx. de emprego 200°C
- Temperatura mín. de emprego - 180°C
- Solda difícil (evapora o zinco - solda oxiacetilênica é a mais recomendada- Chama oxidante)

Bronze

- Nos bronzes comerciais o teor de estanho varia de 2 a 10% podendo chegar a 11% nas ligas para fundição
- À medida que aumenta o teor de estanho, aumentam a dureza e as propriedades relacionadas com a resistência mecânica, sem queda da ductilidade
- As propriedades são ainda melhoradas pela adição de até 0,40% de fósforo, que atua como desoxidante; nessas condições, os bronzes são chamados *fosforosos*.
- Frequentemente adiciona-se chumbo para melhorar as propriedades lubrificantes ou de antifricção das ligas, além da usinabilidade. O zinco é da mesma forma eventualmente adicionado, atuando como desoxidante em peças fundidas e para melhorar a resistência mecânica.
- Os bronzes possuem elevada resistência à corrosão, o que amplia o campo de seu emprego.
- Temperatura máx. de emprego 370 °C
- Temperatura min. De emprego -180 °C

Aplicações de bronzes na antiguidade: armas e ornamentos





Estátua de Bronze.

As principais aplicações dos vários tipos de bronze são as seguintes:

- 98-2 - devido a sua boa condutibilidade elétrica e melhor resistência mecânica que o cobre, é empregado em contatos, componentes de aparelhos de telecomunicação, molas condutoras etc; em construção mecânica, como parafusos com cabeça recalcada a frio, tubos flexíveis, rebites, varetas de soldagem etc.;
- 96-4 - em arquitetura; em construção elétrica, como molas e componentes de interruptores, chaves, contatos e tomadas; na construção mecânica, como molas, diafragmas, parafusos com cabeça recalcada a frio, rebites, porcas etc.;
- 95-5 - em tubos para águas ácidas de mineração, componentes para as indústrias têxteis, químicas e de papel; molas, diafragmas, parafusos, porcas, rebites, varetas e eletrodos de soldagem etc.;
- 92-8 - melhor resistência à fadiga e ao desgaste; na forma de chapas, barras, fios e tubos. Além das aplicações da liga anterior, emprega-se em discos antifricção, devido a suas características antifricção;
- 90-10 - apresenta as melhores propriedades mecânicas, sendo por isso a mais empregada. Entre algumas aplicações típicas, incluem-se molas para serviços pesados.

Os bronzes para fundição incluem, entre outros, os seguintes tipos:

- *liga cobre-estanho 89-11 fósforo* - contendo 0,10 a 0,30% de fósforo; entre as aplicações, podem-se citar engrenagens para diversos fins;
- *liga cobre-estanho 88-10 zinco 2* — contendo 1,0 a 3,0% de zinco e 1,0% máx. de chumbo — conexões de tubos grandes, engrenagens, parafusos, válvulas e flanges;
- *liga cobre-estanho 86-6 zinco 4,5 chumbo 1,5* — contendo 3,0 a 5,0% de zinco e 1,0 a 2,0% de chumbo — válvulas para temperaturas até 290°C, bombas de óleo e engrenagens;
- *liga cobre-estanho 87-11 chumbo I níquel I* — contendo 1,0 a 1,5% de chumbo e 0,5 a 1,5% de níquel — buchas e engrenagens para diversos fins.

Bronzes para mancais – Bronzinas

- *liga cobre-estanho 85-5 chumbo 9 zinco I* - contendo 83,0 a 86,0% de cobre, 4,0 a 6,0% de estanho, 2,0% máx. de zinco e 8,0 a 10,0% de chumbo- empregada em buchas pequenas e mancais;
- *liga cobre-estanho 80-10 chumbo 10* - contendo 78,0 a 82,0% de chumbo, 9,0 a 11,0% de estanho, 1,0% de zinco máx. e 8,0 a 11,0% de chumbo- empregada em mancais para altas velocidades e grandes pressões e em mancais para laminadores;
- *liga cobre-estanho 78-7 chumbo 15* — contendo 75,0 a 80,0% de cobre, 2,0 a 8,0% de estanho, 1,0% máx. de zinco e 13,0 á 16,0% de chumbo- empregada para pressões médias, em mancais para automóveis;
- *liga cobre-estanho 70-5 chumbo 25* - contendo 68,0 a 73,0% de cobre, 4,0 a 6,0% de estanho, 1,0% máx. de zinco e 22,0 a 25,0% de chumbo- empregada em mancais para altas velocidades e baixas pressões.
- O limite de resistência à tração dessas ligas para mancais varia de 10,0 kgf/mm², para as que contêm maior teor de chumbo, a 18,0 kgf/mm².

Ligas cupro-níquel

- Esse tipo de liga são muitos dúcteis e apresentam excelente resistência à corrosão.
- O teor de níquel varia, em média, de 5 a 45%, o manganês e o ferro podem estar presentes até cerca de 2% cada elemento.
- A medida que aumenta o teor de níquel, algumas propriedades mecânicas são afetadas como a resistência mecânica, limite de escoamento, limite de resistência à tração, dureza e limite de fadiga a ductilidade sofre pouca alteração.
- A aplicação de liga com 5% é na construção naval, em tubos condutores de água do mar, circuitos de refrigeração a água e serviços sanitários de navios.
- A aplicação de liga com 10% em tubos e placas de condensadores, aquecedores e evaporadores.
- A aplicação de liga com 20% em resistores, recipientes de transistores e guias de onda de radar.
- A aplicação de liga com 30% ocorre na construção naval e na indústria química.
- A aplicação de liga com 45% ocorre em elementos de aquecimento na indústria elétrica.

Alumínio e ligas

- Propriedades gerais do alumínio:
 - Baixa densidade
 - Boa condução e reflexão do calor
 - Bom condutor de eletricidade
 - Baixa resistência mecânica do alumínio puro
 - Muita ductilidade
- Propriedades gerais das ligas de alumínio:
 - Melhor resistência mecânica e dureza que o alumínio puro .
 - Menor ductilidade que alumínio puro
 - Pior resistência à corrosão que alumínio puro



Principais Ligas de Alumínio

- a) Ligas tratáveis térmica ou mecanicamente:
 - ligas tratáveis termicamente:
 - Al-Cu
 - Al-Zn-Mg
 - Al-Si-Mg;
 - ligas endurecidas por trabalho a frio (encruáveis):
 - Al-Mg
 - Al-Si
- b) Ligas para fundição
 - Al-Cu
 - Al-Si
 - Al-Si-Cu/Mg
 - Al-Mg
 - Al-Sn

Influência dos elementos de liga

Elemento de liga	Percentagem Típica	Vantagem	Desvantagem
Cu	3 a 11%	- confere alta resistência mecânica - facilita trabalho de usinagem	- diminui resistência à corrosão salina - fragilidade a quente
Si	12 a 13%	- aumenta fluidez na fundição - reduz coeficiente de dilatação - melhora a soldabilidade	- diminui usinabilidade
Mg	> 8%	- confere alta soldabilidade - aumenta resistência a corrosão em meio salino - possibilita tratamento térmico de ligas de Al-Si (melhora das características mecânicas)	- dificulta fundição devido a oxidação (borra) e absorção de impurezas (Fe e outros)
Zn	0,05 a 2,2%	- sempre associado ao Mg - confere alta resistência mecânica - ligas auto temperantes - aumenta ductilidade	- diminui resistência à corrosão salina - fragilidade a quente - alta contração em fundição
Mn	0,5 a 10,7%	- como corretor - aumenta resistência mecânica a quente	- pequena diminuição da ductilidade

Características das Ligas de Alumínio

Ligas Tratáveis	Designação AA	Características	Usos
Al > 99,0%	1XXX	- Ótima resistência à corrosão - Ótima soldabilidade - Ótima conformabilidade	- Condutores elétricos - Revestimento em Alclads - Equipamentos químicos e alimentares - Embalagens - Refletores - Utensílios domésticos - Aeronáutica sob a forma de Alclad com liga 2024
Al-Cu	2XXX	- Tratáveis Termicamente - Boa resistência mecânica (RT 40 a 50 kgf/mm² – T8) - Baixa conformabilidade exceto recozidas (ϵ = 20 a 22% rec.) - Soldável apenas por resistência - Boa usinabilidade	- Peças usinadas ou forjadas sujeitas a esforços médios, operando em ambiente não corrosivo - Aviões - Automóveis - Estruturas - Relojoaria
Al-Mn	3XXX	- Tratáveis Termicamente - Boa ductilidade - Média resistência mecânica (RT 11 a 20 kgf/mm²) - Excelente soldabilidade - Baixa usinabilidade	- Tubos soldados - Caldeiraria - Peças fabricadas por embutimento

Ligas Tratáveis	Designação AA	Características	Usos
Al-Si	4XXX	- Tratáveis por Encruamento - Baixo alongamento ($\epsilon = 6\%$ - T6) - Média soldabilidade - Boa resistência mecânica (RT ~40 kgf/mm² T6) - Baixa usinabilidade	- Peças forjadas (pouco usadas)
Al-Mg	5XXX	- Tratáveis por Encruamento - Ótima resistência à corrosão salina - Boa soldabilidade - Baixa usinabilidade	- Formas arquitetônicas e estruturais - Equipamentos químicos, alimentares, têxteis e de mineração - Depósitos sob pressão de gás liquefeito - Navios - Ferragens
Al-Mg-Si	6XXX	- Tratáveis Termicamente - Fácil fabricação - Boa resistência mecânica (RT ~32 kgf/mm² – T6) - Excelente conformabilidade ($\epsilon = 25$ a 30% rec.) - Boa resistência à corrosão	- Formas aeronáuticas - Formas estruturais - Embalagens - Equipamentos químicos, alimentares - Indústria elétrica
Al-Zn-Mg	7XXX	- Tratáveis Termicamente - Difícil produção (alto custo) - Excelente resistência mecânica (RT ~58 kgf/mm² – T6) - Boa conformabilidade ($\epsilon = 17\%$ rec.) - Alta soldabilidade - Melhor limite de fadiga (16 kgf/mm²) - Boa usinabilidade - Boa resistência a ambiente industrial menos os salinos	- Automóveis - Equipamentos têxteis e de mineração - Componentes de alta resistência - Aviões (concorre com aços de alta resistência devido ao baixo peso) - Indústria bélica

Processamento Industrial

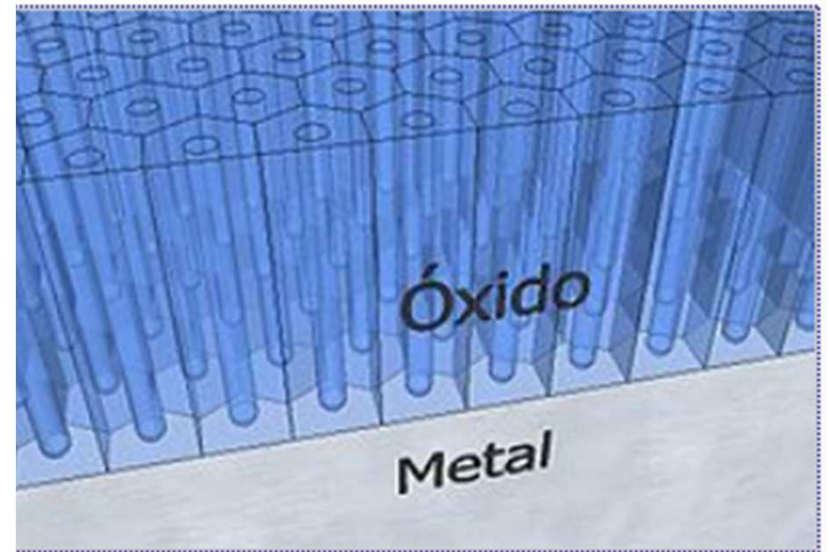
- **Laminação** a quente ou a frio (chapas e folhas)
- **Trefilação** (fios)
- **Extrusão** a quente ou a frio (perfis, barras, tubos sem costura)
- **Forjamento** a quente ou a frio
- **Metalurgia do pó** (peças delicadas de pequenas dimensões)
- **Estampagem** (estruturas de carrocerias)
- **Embutimento** (utensílios domésticos)
- **Fusão em coquilha**
- **Fusão sob pressão**
- Como metal de adição em **solda por brasagem**

Acabamento e Proteção Superficial

- A resistência à corrosão do alumínio e suas ligas depende da manutenção de uma fina camada (filme) de óxido
- Convém provocar o surgimento desta camada de forma artificial para produção de filmes mais espessos dentro de condições controladas em lugar de depender do seu surgimento natural.
- Processo começa com uma limpeza da superfície por meios mecânicos para o emparelhamento da superfície (esmerilhamento, oleamento, lustramento e colorimento) e para a retirada de graxas, óleo sujeira, escamas de tratamentos térmicos e agentes químicos (desengraxamento, limpeza alcalina com agente inibidor, limpeza ácida e limpeza eletrolítica);

Acabamento e Proteção Superficial

- Segue-se a formação da camada de óxido por processo de **anodização**, onde a peça é colocada como ânodo em eletrólito de baixo pH (ácido sulfúrico, oxálico ou crômico) promovendo o reforço da camada de óxido, completando-se com a selagem (fechamento dos poros da camada de óxido) feita em água fervente ou soluções de sais entre 90-100°C por 15 a 60 minutos



Concepção artística do corte de uma camada porosa de óxido vista ao microscópio

Níquel e ligas de níquel

Generalidades

- Metal dúctil e tenaz devido à sua estrutura CFC;
- Temperatura de fusão de 1453C, densidade 8902 kg/m³, módulo de elasticidade 204000 MPa;
- Pode ser encontrado sob diversas formas: barra, chapa, tubo, ou produtos de fundição;
- Usado principalmente como elemento de liga em aços, apenas 13% são usado em ligas baseadas em níquel;
- Ligas de níquel possuem a capacidade de suportar condições muito severas em termos de *corrosão, temperatura elevada, elevadas tensões de serviço, ou uma combinação destes fatores.*

Generalidades

- Ligas de níquel – características possíveis:
 - Resistência a quente;
 - Resistência à corrosão;
 - Reduzida variação dimensional;
 - Ligas com efeito de memória (Ni-Ti);
 - Ligas com elevada resistência elétrica (para aquecimento).
- Exemplos de aplicação:
 - Turbinas de aviões;
 - Turbinas de vapor;
 - Centrais nucleares;
 - Instalações químicas e petroquímicas.

- O níquel é ligado para melhorar as suas já boas propriedades de:
 - Resistência à corrosão;
 - Resistência à temperaturas elevadas.
- Mantém as propriedades de *ductilidade* e *tenacidade* inerentes à sua *matriz austenítica (C.F.C.)*
- Normalmente, dividem-se as ligas de níquel em 5 grandes grupos:
 - Níquel comercialmente puro;
 - Ligas binárias;
 - Ligas ternárias;
 - Ligas complexas;
 - Super ligas.

- Níquel comercialmente puro:
 - Níquel 200 e níquel 201, 99.5% Ni – resistência à corrosão;
 - Duraníquel 301, 94% Ni – 4%Al e até 1% Ti (e outros) – endurecimento por precipitação de $\text{Ni}_3(\text{AlTi})$ → maior resistência mecânica.
- Ligas binárias:
 - Ni-Cu (Al, Fe, Ti) [Monel]
- Endurecimento por envelhecimento → maior resistência e dureza;
- Maior resistência à corrosão.
 - Ni-Mo [Hastelloy B2] – resistência à corrosão.

- Ligas ternárias:
 - Ni-Cr-Fe [Inconel 600, Incoloy 800] → resistência a temperaturas elevadas.
 - Ni-Cr-Mo [Hastelloy C-276, Hastelloy C-22, Inconel 625] → resistentes à corrosão alveolar. Aplicação em meios aquosos.
- Ligas complexas:
 - Ni-Cr-Fe-Mo-Cu [Hastelloy G-3, Inconel 617, 625, e 718, Incolloy 825] →
- aplicações envolvendo ácido sulfúrico / fosfórico.

- Super ligas:
 - Desenvolvidas para aplicações especiais onde se exige grande resistência mecânica a temperaturas elevadas → *resistência à fluência*.
 - Endurecimento por solução sólida: Cr, Co, Fe, Mo, W, Ni.
 - Endurecimento por precipitação: composto intermetálico $\text{Ni}_3(\text{Al}, \text{Ti})$, coerente com a matriz → resistência a quente (teor de Al até 5% e Ti até 1%)
 - Designações: Waspaloy, Udimet 700, Astroloy, Rene 95 e a classe Nimonic.



Propriedades Mecânicas

Nome	UNS	Composição	Condição	Propriedades mecânicas			Aplicações/Características
				Rot. (MPa)	Ced.(MPa)	Ext.Rot(%)	
Ni puro	N02200	99.9Ni	Recozido	350	112	45	Revestimentos ou componentes para resistência a corrosão
				665	560	4	
Monel 400	N04400	31.5Cu	Recozido	546	273	37	Válvulas, bombas e permutadores de calor
Monel K500	N05500	29.5Cu, 2.7Al, 1.0Fe, 0.6Ti	Envelhecido	1050	770	30	Veios, molas e pás de turbina
Inconel 600	N06600	15.5Cr, 8Fe	Carbonetos dispersos	560	203	49	Equipamentos para tratamento térmico
Inconel 625	N06625	21.5Cr, 2.5Fe, 9Mo, 3.6Nb	Deformado a frio	896	483	50	
Inconel X750	N07750	15.5Cr, 7Fe, 2.5Ti	Envelhecido	1241	827	25	
Hastelloy B-2	N10665	28Mo	Carbonetos dispersos	950	520	55	Componentes estruturais resistentes à corrosão e processamento químico
Hastelloy C276	N10276	16Cr, 16Mo, 6Fe, 4W		792	531	60	
Incoloy 800	N08800	46Fe, 21Cr	Carbonetos dispersos	623	287	37	Permutadores de calor
Incoloy 825	N08825	21.5Cr, 30Fe, 3Mo, 2.2Cu		690	310	45	

Titânio, zircônio e ligas

Os dois são hexagonais
compactos e possuem
características semelhantes

Propriedades gerais

- Maior relação RESISTÊNCIA / PESO
- Excepcional resistência à corrosão
- Resistência de Ligas de titânio são equivalentes à resistência de aços temperados e revenidos
- Densidade de 4.5 g/cm³ 6.5 (Zircônio)
- Temperatura máxima Ti – 400 C ; Zr – 480 C
- Temperatura mínima -55 C
- Soldagem difícil

- Sua leveza e resistência mecânica fazem do Titânio ideal para equipamentos esportivos, como quadros de bicicleta e raquetes de tênis. Na indústria muito empregado em aplicações que estejam em contato com meios muito agressivos contendo cloretos, como por exemplo na indústria do papel.



- Turbinas a gás, equipamentos de extração de metal, anodos e trocadores de calor também usam ligas de titânio em sua composição.



Magnésio e ligas

Propriedades

- Muito reativo, sofre ignição espontânea .
- Baixíssima densidade $1,74 \text{ g/cm}^3$
- Boa usinabilidade
- Baixa ductilidade (Hexagonal compacto)
- Designação ASTM : Ex: ASTM AZ91 9% de alumínio e 1% de Zinco.

Aplicações

- Indústria automobilística



Aplicações

- Indústria Aeronáutica



Zinco e ligas

Hexagonal compacto

Aparência do Zinco



Propriedades

- Densidade 7,13 g/cm³
- Ponto de fusão 419 C
- Baixa ductilidade (mas maleável entre 100 e 150 C)
- Zinco metálico principal aplicação:
GALVANIZAÇÃO DOS AÇOS
- Ligas para fundição: Zamac 2 (Zn Al)
- Zamac 3 (Zn Al Cu)
- Zamac 5 (Zn Al Cu)
- Zamac 610 (Zn Al Cu)

Aplicações das ligas de Zinco

- Automóveis: Grades, armações de lanternas. Fechaduras corpos de bombas etc...
- Aparelhos eletrodomésticos: Corpos de liquidificadores, batedeiras, aspiradores ventiladores maçanetas e dobradiças de geladeiras, grades de rádio e televisores
- Brinquedos
- Componentes de equipamentos elétricos

Telhado de zinco

